



KERJA PRAKTEK – RC 18-4802

**LAPORAN TUGAS KERJA PRAKTEK  
METODE PELAKSANAAN BENDUNGAN WAY APU KABUPATEN  
BURU PROVINSI MALUKU**

IFARREL RACHMANDA HARIYANTO	NRP 03111740000081
MOHAMMAD FEBRIAN ROHMATULLOH	NRP 03111740000109

Dosen Pembimbing:  
Mohamad Bagus Anshori, S.T., M.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

**LEMBAR PENGESAHAN**

**LAPORAN TUGAS PENGANTI KERJA PRAKTEK**

**METODE PELAKSANAAN BENDUNGAN WAY APU KABUPATEN BURU PROVINSI  
MALUKU**

IFARREL RACHMANDA H.

NRP. 03111740000081

MOHAMMAD FEBRIAN R.

NRP. 03111740000109

Surabaya, Desember 2020

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Mohamad Bagus Anshori, S.T., M.T., M.Sc.

NIP. 3100201405002

Mengetahui,

Sekretaris Departemen I

Bidang Akademik dan Kemahasiswaan

Departemen Teknik Sipil FTSPK - ITS



Data Iranate, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 198004302005011002



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah SWT. Atas segala karunia, limpahan rahmat, Kesehatan, dan kesempatan, dan Ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Pengganti Kerja Praktek berjudul “METODE PELAKSANAAN BENDUNGAN WAY APU KABUPATEN BURU PROVINSI MALUKU” seperti yang diharapkan.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak pihak yang telah mendukung dan memberi masukan sehingga Laporan ini dapat terselesaikan, antara lain:

1. Kedua Orang Tua kami yang telah mencurahkan kasih sayang tak terhingga dan dukungan baik berupa moril dan materiil. Terutama Ibu yang selalu mendoakan di setiap sujudnya. Sehingga kami dapat menyelesaikan laporan ini.
2. Bapak Mohamad Bagus Anshori ST., MT., M.Sc., sebagai dosen pembimbing kami yang telah memberikan arahan dan masukan dengan sabar dan telaten dalam mengerjakan tugas ini.
3. Seluruh Dosen Pengajar di Departemen Teknik Sipil ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan nasehat selama masa perkuliahan.
4. Segenap teman teman Teknik Sipil yang banyak memberi motivasi, pembelajaran, dukungan, dan nasehat selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan proposal tugas akhir ini jauh dari kata Kesempurnaan, Oleh karena itu saran dan kritik sangat diharapkan guna penulis. Sehingga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 1 Oktober 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	I
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB I.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Lokasi Pembangunan .....	2
1.3    Data Teknis .....	2
1.3.1    Data Teknis Umum .....	2
1.3.2    Data Bendungan.....	3
1.3.3    Data Pelimpah.....	3
1.3.4    Data Bangunan Cofferdam dan Saluran Pengelak .....	4
1.4    Data Khusus .....	4
1.5    Diagram Konstruksi Bendungan.....	6
BAB II.....	7
2.1    Pekerjaan Persiapan .....	7
2.1.1    Pematokan dan Pengukuran .....	7
2.1.2    Mobilisasi dan Pekerjaan Persiapan.....	7
2.1.3    Metode Pelaksanaan Penetapan Tambahan Bench Mark.....	7
2.1.4    Flow Chart Tahapan Benchmarking .....	9
2.1.5    Metode Pelaksanaan Pengukuran As Bendungan .....	10
2.1.6    Flow Chart Tahapan Pengukuran As Bendungan .....	12
2.1.7    Metode Pelaksanaan Pengukuran Level dan Cross Section.....	12
2.1.8    Flow Chart Pengukuran Level dan Cross Section.....	15
BAB III .....	16
3.1    Pekerjaan Galian .....	16
3.2    Prosedur Penggalian.....	16
3.3    Pengamanan pekerjaan galian .....	17
3.4    Pekerjaan Grouting .....	19
3.5    Tujuan Grouting.....	19
3.6    Jenis jenis grouting .....	20
3.7    Metode Pelaksanaan.....	21
3.8    Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Pondasi .....	28
BAB IV .....	31



4.1	Pekerjaan Terowongan Pengelak .....	31
4.2	Pekerjaan Dewatering .....	32
4.3	Metode Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan Pengelak/Konduit Pengelak .....	35
BAB V .....		43
5.1	Pekerjaan Timbunan (Cofferdam) .....	43
5.2	Flow Chart Kontrol Kualitas Timbunan (Cofferdam) .....	46
5.3	Metode Pelaksanaan Pembangunan Cofferdam.....	47
5.3.1	Pekerjaan Persiapan .....	47
5.3.2	Dewatering dan Coffering.....	48
5.3.3	Metode Pekerjaan Tanah.....	49
BAB VI.....		52
6.1	Pekerjaan Spillway.....	52
6.2	Bentuk bentuk spillway.....	53
6.3	Saluran Transisi dan Saluran Peluncur .....	54
6.4	Kolam Peredam Energi .....	55
6.5	Metode Pelaksanaan.....	55
BAB VII.....		60
7.1	Pekerjaan Bangunan Main Dam .....	60
7.2	Pekerjaan Timbunan pada Bendungan.....	61
7.3	Analisa Material.....	63
7.4	Pelaksanaan Timbunan Tiap Zona.....	66
7.5	Trial Embankment .....	73
7.6	Pekerjaan Pemadatan .....	74
7.7	Flowchart Kontrol Kualitas Timbunan .....	76
BAB VIII .....		77
8.1	Pekerjaan Instrumentasi DAM.....	77
8.2	Manfaat instrumentasi.....	77
8.3	Jenis jenis instrument.....	78
8.4	Bangunan Intake dan Plugging .....	88
BAB IX.....		90
9.1	Pekerjaan Impounding .....	90
BAB X .....		93
10.1	Kesimpulan .....	93
10.2	Saran .....	94



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Bendungan Way Apu .....	2
Gambar 1.2 Situasi dan Posisi As Bendungan .....	4
Gambar 1.3 Catchment Area Bendungan .....	5
Gambar 1.4 Wilayah Genangan Air.....	5
Gambar 3.1 Ilustrasi Pekerjaan Grouting.....	19
Gambar 3.2 Ilustrasi Arah Aliran Air yang Mengalir di Bawah Bendungan.....	20
Gambar 3.3 Ilustrasi Pekerjaan di bawah muka air tanah .....	20
Gambar 3.4 Contoh Pengambilan Sampel Tanah .....	22
Gambar 3.5 Macam – macam skema untuk Grouting.....	23
Gambar 3.6 Proses Sistem Down Stage.....	23
Gambar 3.7 Skema Pekerjaan Water Pressure Test .....	24
Gambar 3.8 Excavator Volvo EC200D.....	28
Gambar 3.9 Colt Diesel 125PS .....	29
Gambar 4.1 Ilustrasi Plugging .....	31
Gambar 4.2 Ilustrasi Terowongan Pengelak Disatukan Dengan Pelimpah, Bendungan Batutege, Lampung .....	31
Gambar 4.3 Terowongan Pengelak dan Pelimpah Bendungan Cirata, Jawa Barat.....	32
Gambar 4.4 Ilustrasi Penempatan Cofferdam .....	33
Gambar 4.5 Metode Penggalan Secara Estafet .....	37
Gambar 4.6 Injeksi Semen pada Metode Grouting TAM .....	39
Gambar 5.1 Ilustrasi Pekerjaan Timbunan (Cofferdam).....	45
Gambar 5.2 Pekerjaan Dewatering .....	48
Gambar 6.1 Cross Section Spillway .....	52
Gambar 6.2 Skema Saluran Pengarah hingga Saluran Peredam Energi .....	54
Gambar 6.3 Skema Aliran apabila terjadi Aliran Kritis di Ujung Transisi.....	54
Gambar 6.4 Ilustrasi Denah Pekerjaan Spillway.....	55
Gambar 6.5 Ilustrasi Galian Tanah .....	56
Gambar 6.6 Ilustrasi Land Clearing.....	56
Gambar 6.7 Waterstop .....	58
Gambar 6.8 Tipe Sambungan Waterstop .....	58
Gambar 7.1 Sketsa Potongan Memanjang Zona Dam Jatibarang .....	61
Gambar 7.2 Sketsa Potongan Memanjang Bendungan Kuwi Kawangkoan .....	61
Gambar 7.3 Pekerjaan Timbunan pada Bendungan.....	62
Gambar 7.4 Titik letak Sondir dan Borlog.....	64
Gambar 7.5 Pemetaan Geologi Tiap Tiap Titik Sondir .....	65
Gambar 7.6 Contoh Borrow Area Bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur .....	65
Gambar 7.7 Ilustrasi Pengambilan Borrow Zone area inti.....	66
Gambar 7.8 Ilustrasi Penghamparan Material dengan Bulldozer .....	67
Gambar 7.9 Ilustrasi Pemadatan dengan Sheep Foot Roller.....	67
Gambar 7.10 Ilustrasi Pekerjaan Pengambilan Material dari Borrow Area.....	68
Gambar 7.11 Ilustrasi Pekerjaan Penghamparan Timbunan Filter .....	68
Gambar 7.12 Ilustrasi Pemadatan menggunakan Vibratory Roller.....	69
Gambar 7.13 Ilustrasi Peledakan untuk Material Rock Fill .....	70
Gambar 7.14 Ilustrasi Pengangkatan Material Rock Fill .....	70
Gambar 7.15 Ilustrasi Pemadatan dengan Vibro Roller.....	70
Gambar 7.16 Ilustrasi Pekerjaan Pengambilan Random Fill .....	71
Gambar 7.17 Ilustrasi Penghamparan Material Timbunan Random Fill .....	71



Gambar 7.18 Ilustrasi Pemadatan dengan Menggunakan Vibro Roller.....	71
Gambar 7.19 Ilustrasi Pekerjaan Pengangkutan Material Rip Rap.....	72
Gambar 7.20 Ilustrasi Pekerjaan Penurunan Material Rip Rap .....	72
Gambar 7.21 Ilustrasi Pekerjaan Peletakkan Material Rip Rap.....	73
Gambar 7.22 Skema Trial Embankment.....	74
Gambar 8.1 Piezometer.....	78
Gambar 8.2 Pneumatic Pressure Cell.....	80
Gambar 8.3 Ilustrasi Pneumatic Pressure Cell.....	80
Gambar 8.4 Vibrating Wire Pressure Cell .....	81
Gambar 8.5 Strain Gauge Load Cell .....	81
Gambar 8.6 Strain Meter.....	82
Gambar 8.7 Surface Moments .....	82
Gambar 8.8 Magnetic Extensometer.....	83
Gambar 8.9 Hydraulic Settlement Cell.....	83
Gambar 8.10 Automatic Double Fluid Settlement Device .....	84
Gambar 8.11 Inklinometer .....	85
Gambar 8.12 Alat Pengukur Rembesan .....	85
Gambar 8.13 Ilustrasi Peletakkan Alat Ukur Rembesan.....	86
Gambar 8.14 Akselerometer .....	87
Gambar 8.15 Potongan Melintang Bangunan Sadap Menara/Intake Tegak .....	89
Gambar 8.16 Potongan Melintang Bangunan Sadap Miring/Menara Sandar.....	89
Gambar 9.1 Bird View Site Bendungan.....	90
Gambar 9.2 Peresmian Waduk .....	91



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pressure Rencana Tiap Stage .....	25
Tabel 3.2 Contoh Penilaian Form Lugeon .....	25
Tabel 3.3 Tabel Lugeon dan Deskripsi Grouting .....	26
Tabel 3.4 Kapasitas Grouting .....	28
Tabel 7.1 Tabel Ukuran Partikel Zona Rip Rap .....	72
Tabel 7.2 Standar Metode Pemasangan .....	75
Tabel 8.1 Spesifikasi Piezometer .....	79





## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sungai adalah salah satu sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia terutama digunakan untuk berbagai keperluan primer seperti penyediaan irigasi, air baku, industri, transportasi. Namun, selain menjadi manfaat, sungai dapat juga menimbulkan masalah bagi manusia apabila air sungai meluap/lebih tinggi daripada yang direncanakan atau dikehendaki oleh penduduk sekitar atau dalam istilah umum lebih dikenal dengan bencana banjir.

Banjir dapat menimbulkan masalah serius bagi masyarakat/penduduk sekitar. Hal ini dapat diakibatkan oleh debit aliran yang terlalu besar atau kapasitas pengaliran sungai yang semakin berkurang. Hal ini dapat terjadi oleh gejala alamiah dalam melakukan pengelolaan sungai untuk berbagai macam kepentingan. Di Indonesia, hal ini merupakan hal biasa yang dapat terjadi tidak hanya di satu daerah, melainkan di berbagai penjuru di Indonesia.

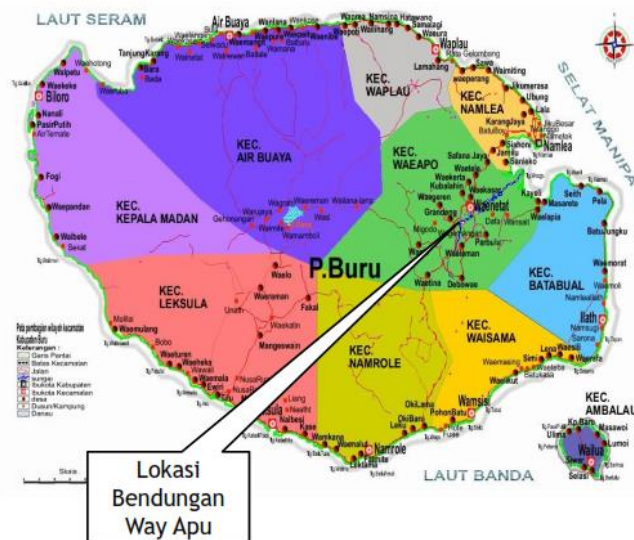
Pulau Buru sendiri merupakan salah satu pulau terbesar yang berada di Kepulauan Maluku. Secara umum pulau Buru terdiri dari perbukitan dan pegunungan dengan puncak tertinggi 2736 m. Di Pulau Buru, terdapat sungai terpanjang yaitu Sungai Way Apu dengan Panjang sungai 47,25 km dan Luas DAS 457,10 km<sup>2</sup>. Sungai ini memiliki masalah yaitu adanya banjir setiap musim hujan. Debit banjir tahunan yang terjadi pada Sungai Way Apu lebih besar daripada kapasitas dasar Sungai Way Apu. Sedangkan saat musim kemarau, permasalahan yang sering terjadi adalah terjadinya kekeringan dan suplai air yang rendah terutama di musim kemarau. Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan diatas maka direncanakan Bendungan Way Apu dengan tujuan utama sebagai pengendali banjir dan memenuhi kebutuhan air baku, irigasi, dan PLTA sebagai tujuan multiguna.

Pembangunan Bendungan Way Apu rencananya akan dilaksanakan melalui kontrak paket selama 4 Tahun hingga tahun 2022. Penandatanganan Kontrak dilakukan untuk 3 paket dengan total investasi 2,223 Triliun Rupiah, baik pembangunan fisik dan kontrak pekerjaan dimana Paket 1 senilai 1,069 T akan dilaksanakan oleh Pembangunan Perumahan dan Adhi Karya, Paket 2 senilai 1,013 T akan dibangun oleh Hutama Karya dan Jasa Konstruksi (KSO), dan Paket 3 senilai 74 M oleh Indra Karya (KSO). Bendungan ini nantinya akan memiliki volume tampung 30 Juta Meter Kubik yang akan mengalir lahan irigasi sebesar 5000 Ha, dengan air baku 60 m<sup>3</sup>/detik pada jam puncak, dan listrik sebesar 8 Megawatt.



## 1.2 Lokasi Pembangunan

Secara geografis, bendungan way Apu terletak di kecamatan Waeapo dengan jumlah penduduk 16.368 jiwa. Jumlah ini merupakan jumlah penduduk kedua terpadat setelah kecamatan Namlea. Pulau Buru memiliki 9 kecamatan yaitu Waplau, Batabual, Namlea, Air Buaya, Waeapo, Madan, Leksula, Namrole, Waisama, dan Batabual.



Gambar 1.1 Lokasi Bendungan Way Apu

Dengan luas wilayah kecamatan Way Apu sebesar 1232,60 km<sup>2</sup>, mata pencaharian utama penduduk ada di sektor pertanian, dengan luas daratan 14000 Ha memproduksi pada sawah, padi ladang, ubi kayu, ubi jalar, jagung, kacang kedelai, dan kacang tanah. Selain itu juga terdapat perkebunan rakyat, peternakan, perikanan, industri pengolahan, penggalian bahan golongan C, dan perdagangan. Untuk sarana prasarana perkotaan sudah cukup lengkap berupa Jalan raya, listrik, air minum, angkutan darat, telekomunikasi, perhotelan dan wisata.

## 1.3 Data Teknis

### 1.3.1 Data Teknis Umum

Berdasarkan Laporan Perencanaan SID Bendungan Way Apu kabupaten Buru Tahun 2013, didapat data teknis sebagai berikut:

- Luas DPS : 457.1 km<sup>2</sup>
- Panjang sungai utama : 47.22 km
- Debit Banjir Rancangan (Metode Nakayasu)
  - Q5 = 377,32 m3/dt
  - Q10 = 407,51 m3/dt



Q25	=	433,78 m <sup>3</sup> /dt
Q50	=	447,42 m <sup>3</sup> /dt
Q100	=	457,54 m <sup>3</sup> /dt
Q200	=	465,22 m <sup>3</sup> /dt
Q1000	=	483,96 m <sup>3</sup> /dt
QPMF	=	1750,87 m <sup>3</sup> /dt

### 1.3.2 Data Bendungan

- Tipe Bendungan : Inti Tegak
- Elevasi Dasar Sungai : + 50,00 (hulu)
- Elevasi Dasar Sungai : + 49,00 (hilir)
- Elevasi Puncak Bendungan : 15,00 meter
- Panjang As Bendungan : 1107,00 m
- Lebar Puncak Bendungan : 6,00 m
- Kemiringan Lereng
  - Hulu : 1 : 2,90
  - Hilir : 1 : 2,50
- Pelindung lereng hulu : Rip Rap

### 1.3.3 Data Pelimpah

- Tipe Pelimpah : Ambang Bebas Type OGEE
- Elevasi Crest : + 59,00 m
- Material Bahan : Beton Bertulang K-255
- Lebar Hulu side : 35,00 m
- Lebar Hilir Side : 40,00 m
- Lebar Sal. Transisi : 40,00 m
- Lebar Sal. Peluncur : 40,00 m
- Lebar Peredam Energi : 40,00 m
- Panjang Sal. Samping (Side) : 60 m
- Panjang Transisi : 40 m
- Panjang Peluncur : 50 m
- Panjang Peredam Energi : 10 m
- Panjang Escape Channel : 40 m
- Kemiringan Saluran Samping : 0,051
- Kemiringan Saluran Transisi : Datar



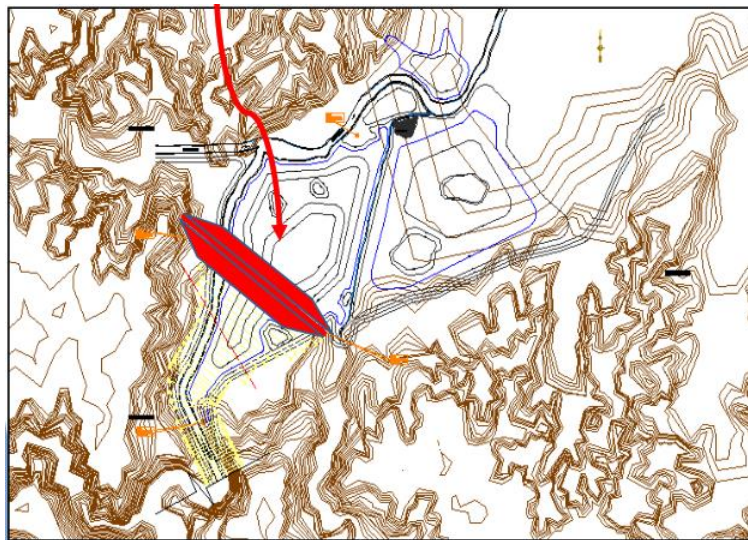
- Kemiringan Saluran Peluncur : 0,116
- Type Peredam Energi : USBR Type III

#### 1.3.4 Data Bangunan Cofferdam dan Saluran Pengelak

- Tipe Bangunan Cofferdam : Urugan Homogen
- Elevasi Puncak Cofferdam : +57,50
- Tinggi Cofferdam : 7,50 m
- Kemiringan Lereng
  - Hulu : 1 : 2,90
  - Hilir : 1 : 2,90
- Pelindung lereng hulu : Rip Rap
- Saluran Pengelak : Conduit
- Bentuk Terowongan : Tapal Kuda

#### 1.4 Data Khusus

##### 1. Situasi dan Posisi As Bendungan



Gambar 1.2 Situasi dan Posisi As Bendungan

Koordinat UTM untuk as bendungan pada ujung bendungan

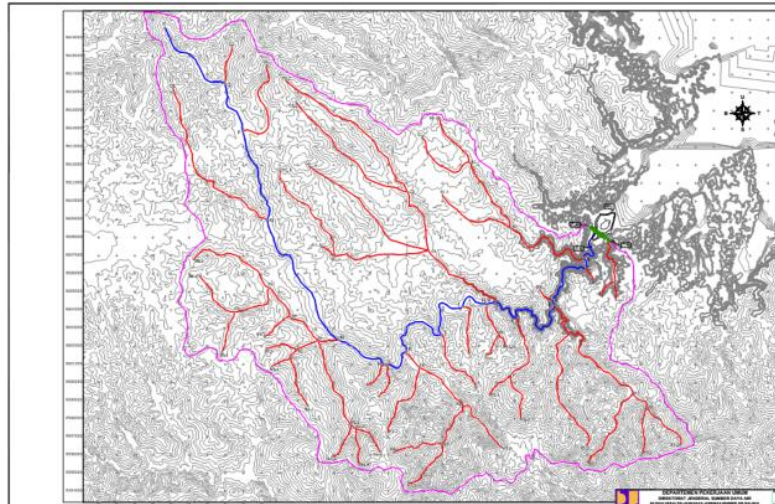
- As Kanan
  - X = 261332.2504
  - Y = 9607761.3179
  - Z = 142.00
- As Kiri
  - X = 260067.8050



$$Y = 9608659.5321$$

$$Z = 142.00$$

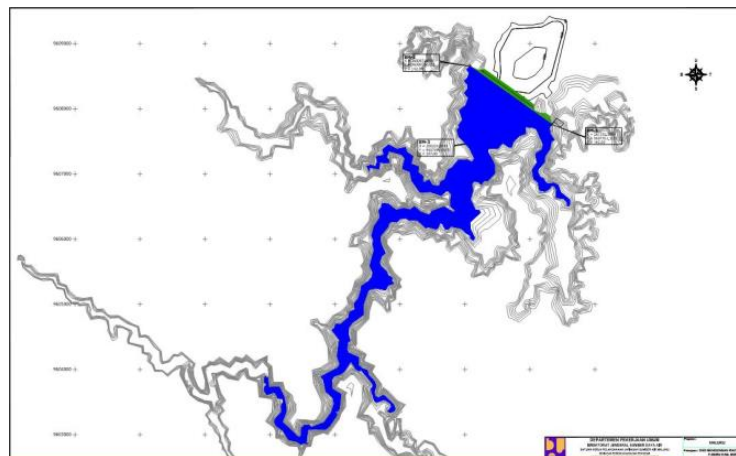
## 2. Catchment Area Bendungan



Gambar 1.3 Catchment Area Bendungan

Didapatkan Luas Daerah Tangkapan Air sebesar 457,1 km<sup>2</sup>. Dan Panjang Sungai Utama adalah 47,22 km

## 3. Wilayah Genangan Air



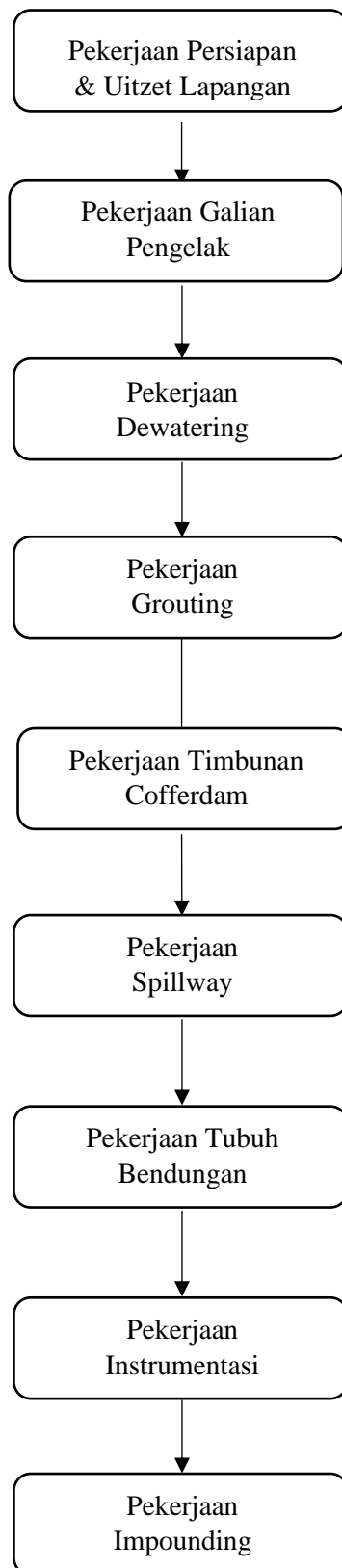
Gambar 1.4 Wilayah Genangan Air

Luas genangan pada elevasi NWL (Normal Water Level) adalah 1.529.819,436 m<sup>2</sup> dan volume tampungan total adalah 27.001.844,796 m<sup>3</sup>



### 1.5 Diagram Konstruksi Bendungan

Secara garis besar, metode pelaksanaan konstruksi bendungan dapat dilihat pada diagram flowchart sebagai berikut:







## **BAB II**

### **PEKERJAAN PERSIAPAN**

#### **2.1 Pekerjaan Persiapan**

##### **2.1.1 Pematokan dan Pengukuran**

Pengukuran merupakan pekerjaan awal sebelum memulai clearing area atau pembersihan lahan. Pekerjaan pengukuran terdiri dari penentuan koordinat BM yang akan dijadikan acuan untuk pekerjaan selanjutnya. Penentuan BM ini harus disepakati antara kontraktor, konsultan dan pemberi jasa yang tertuang di berita acara. Setelah penentuan BM dilanjutkan pembuatan patok-patok CP (Control Point) di area pembebasan lahan. Pada pekerjaan pengukuran juga diperlukan survey awal topografi untuk membuat kontur tanah. Pengukuran topografi bisa menggunakan alat Total Station atau Drone (Photogrammetry).

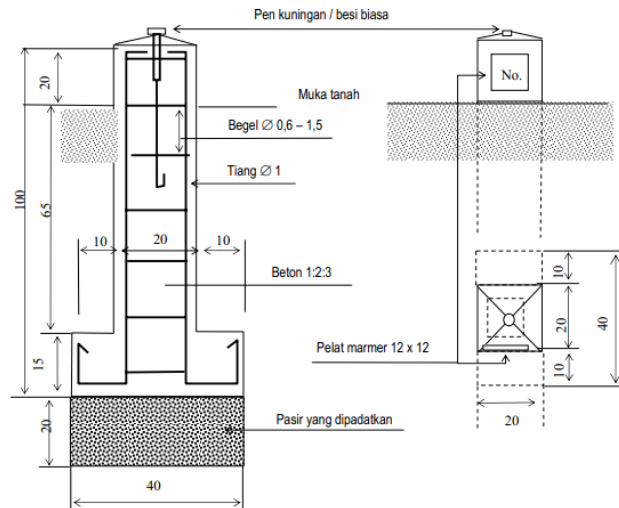
##### **2.1.2 Mobilisasi dan Pekerjaan Persiapan**

Pekerjaan Mobilisasi akan segera dilakukan setelah Surat Perintah Mulai Kerja diterbitkan. Pada Pekerjaan Mobilisasi ini, akan dilakukan Mobilisasi Peralatan, Tenaga Kerja, Manusia, Pembuatan Direksi Keet dan barak tempat kerja serta kebutuhan lainnya yang diperlukan guna menunjang kelancaran pekerjaan. Juga Dilakukan Penyelidikan atau Investigasi terhadap kondisi lapangan, kondisi material yang akan dipergunakan, seperti melakukan Job Mix Formula Untuk Hot Mix, Soil Investigation (jika diperlukan), dan hal lainnya.

##### **2.1.3 Metode Pelaksanaan Penetapan Tambahan Bench Mark**

Dalam menentukan titik referensi adalah titik atau Benchmark yang ada di sekitar lokasi pengukuran. Dalam pemetaan terdapat suatu kerangka dasar yang mana kerangka dasar tersebut merupakan jalur patok-patok pengukuran yang akan digunakan sebagai titik-titik acuan pemetaan. Dalam hal ini dilakukan dengan metode poligon (titik banyak) dan di tempatkan pada area terluar agar dapat berfungsi sebagai batas area pengukuran/pemetaan.

Patok-patok kerangka dasar ini dipasang kokoh sedemikian rupa pada tanah yang stabil dan aman dari gangguan serta mempunyai nomenklatur yang jelas sebagai identitasnya.



Gambar 02.1 Contoh Standar Ukuran Patok Benchmark (BM)

### Metode Pelaksanaan

#### 1. Persiapan

- Siap gambar kerja / shop drawing
- Siap peta rintisan-rintisan
- Siap tenaga
- Siap Patok
- Siap Lahan

#### 2. Pelaksanaan

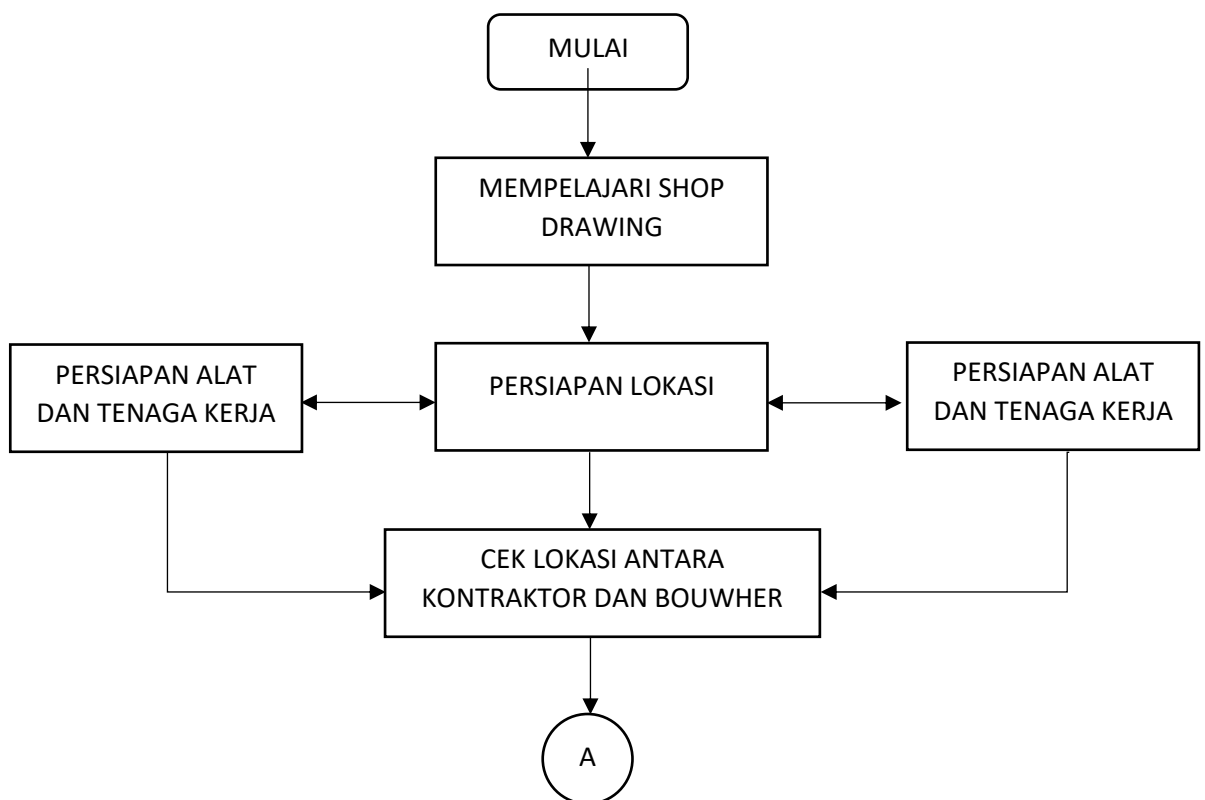
- Pada waktu awalnya pihak I dan Pihak II (Kontraktor-Bouwher) mengadakan pemeriksaan bersama ke lokasi/letak BM dimana untuk pedoman elevasi yang akan dibawa ke lokasi proyek.
- Adapun yang dekat untuk pembuatan gedung, bisa mengambil daerah sekitar (telah ditentukan)
- Setelah ditentukan kesepakatan letak pengambilan BM kemudian dipindahkan ke lokasi proyek sbb:
  - a. Pengukuran dengan alat water pass. Dimulai pengambilan elevasi dari BM awal, dipindahkan secara bertahap/ berurutan dengan alat bak ukur dan patok-patok pembantu.
  - b. Demikian seterusnya setiap jarak 50 m sampai dengan lokasi proyek
  - c. Pada lokasi proyek untuk TBM kedua setelah dari BM awal diukur ulang menuju ke BM awal dengan melalui bantuan-bantuan patok yang telah ada.

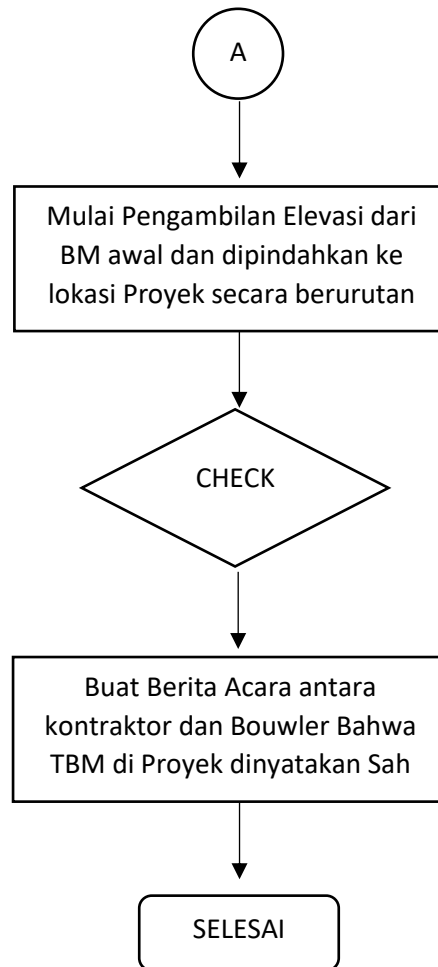




- d. Setelah elevasi cocok, kemudian dibuat berita acara antara pihak kesatu dan pihak kedua bahwa TBM kedua (di proyek) dinyatakan sah.
- e. Untuk bangunan gedung, TBM kedua dipindahkan ke TBM-TBM di sekitar areal gedung cukup dibuat 4 (empat) buah (daerah sisi-sisi luar dekat dengan pagar dengan cara diukur ulang).
- f. TBM kedua dan seterusnya diamankan dan diberi tanda / pagar agar tidak terganggu elevasinya.
- g. Untuk bangunan air / irigasi biasanya dibuat setiap jarak 200 m sepanjang irigasi, dan ditempatkan dilokasi yang paling aman, hal ini sangat mempengaruhi elevasi/ debit aliran air apabila terjadi TBM yang terganggu.
- h. Patok-patok beton tersebut ditanam secara permanent dan vertical.
- i. Patok beton diusahakan + 20 – 30 cm diatas permukaan tanah.
- j. Baut sebagai titik elevasi kelihatan kepala bautnya saja.

#### 2.1.4 Flow Chart Tahapan Benchmarking





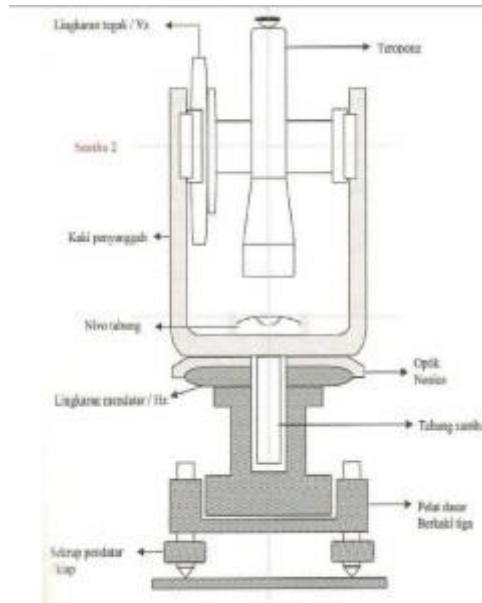
### 2.1.5 Metode Pelaksanaan Pengukuran As Bendungan

Pengukuran akan dilakukan dari awal hingga dapat dimulainya pelaksanaan pekerjaan. Hasil pengukuran ini jika dimungkinkan juga akan dipakai untuk menentukan progres pekerjaan yang berhubungan dengan pembayaran. Tim pengukuran juga akan melakukan pengecekan gambar yang ada (Construction Drawing) dan akan membuat data awal. Dimana data awal tersebut akan dipakai guna pembuatan Shop Drawing yang akan dijadikan untuk pedoman pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Shop drawing sebelum dapat digunakan sebagai pedoman di lapangan harus mendapatkan persetujuan terlebih dahulu dari Direksi lapangan dan Konsultan. Metode yang dilakukan harus sesuai dengan SNI 03-2849-1992 Tentang Tata Cara Pemetaan Geologi Teknik Lapangan.

Selanjutnya diharapkan As Build Drawing akan dapat diproses bersamaan dengan pelaksanaan pekerjaan di lapangan dengan berpedoman pada hasil pekerjaan terlaksana (Pekerjaan yang sudah dilakukan). Hal ini dimaksudkan agar pada saat selesai pekerjaan nanti,



As Build Drawing yang menjadi kewajiban Kontraktor juga dapat segera diselesaikan. Dalam Pengukuran As Bendungan di lapangan digunakan alat bantu bernama Theodolit.



Gambar 02.2 Komponen Theodolit

#### Metode Pelaksanaan

##### 1. Persiapan

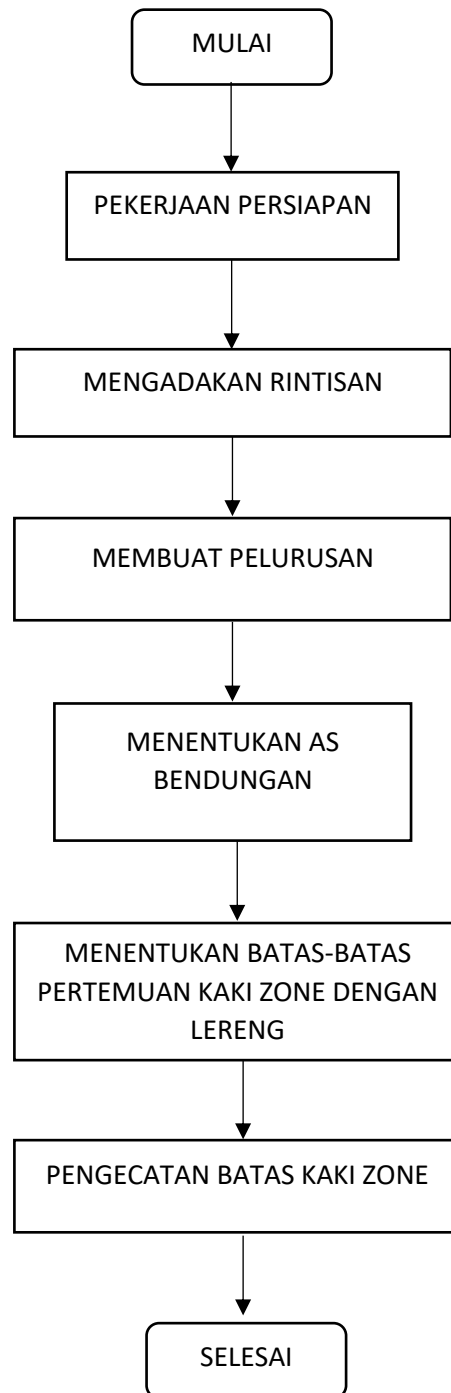
- Siap gambar kerja / shop drawing
- Siap alat, bahan, tenaga ukur
- Siap lahan / pembersihan

##### 2. Pelaksanaan Pengukuran:

- Mengadakan rintisan
- Membuat pelurusan as bendungan sesuai dengan titik koordinat yang sudah ditentukan.
- Membuat tanda as bendungan dengan cat atau lainnya pada kedua lereng tebing.
- Menentukan batasan bertemunya dasar timbunan untuk masing-masing zone.
- Memberikan tanda pertemuan kaki zone dengan cat atau lainnya pada kedua lereng kiri dan kanan.
- Melakukan pengecekan ulang akan Elevasi puncak dan diikatkan kepada titik referensi bangunan lainnya.

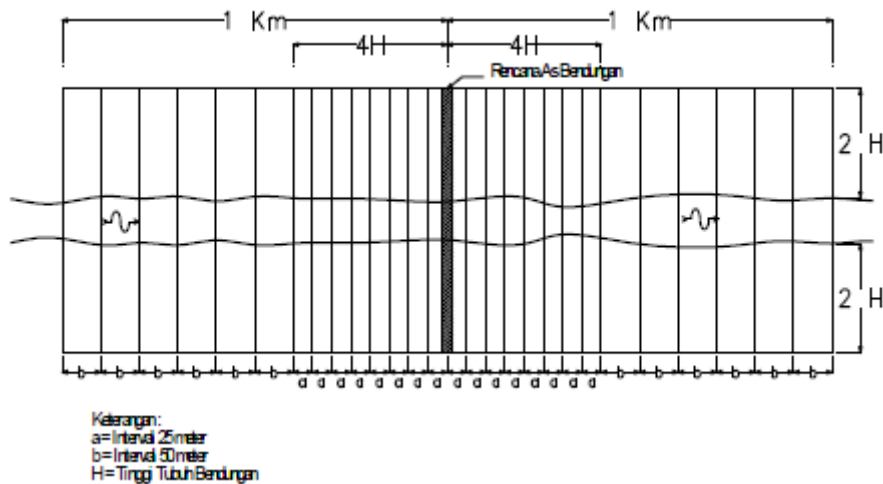


### 2.1.6 Flow Chart Tahapan Pengukuran As Bendungan



### 2.1.7 Metode Pelaksanaan Pengukuran Level dan Cross Section

Maksud dari pengukuran Level dan Cross Section disini adalah untuk memperoleh gambaran kondisi penampang atau irisan topografi secara melintang atau memanjang yang ada.



Gambar 02.3 Contoh Denah Pengukuran Profil Melintang dan memanjang

#### Metode Pelaksanaan

##### 1. Persiapan

- Siap data elevasi
- Siap format-format pengukuran
- Siap gambar kerja / shop drawing
- Siap bahan, alat, tenaga

##### 2. Pelaksanaan

###### a. Leveling :

- Leveling dari BM yang telah ditetapkan menuju ke patok tetap TBM dekat lokasi proyek, dengan menggunakan patok bantuan setiap jarak 50 m
- Setelah sampai di patok tetap dekat proyek, pengukuran diulang balik untuk mencocokkan lagi.
- Setelah disetujui kedua belah pihak, maka dibuat berita acara.
- Buat TBM tetap di proyek dengan patok beton dan di atasnya diberi /ditanam baut
- Demikian perpindahan seterusnya untuk bangunan-bangunan yang akan dibuat

###### b. Cross section :

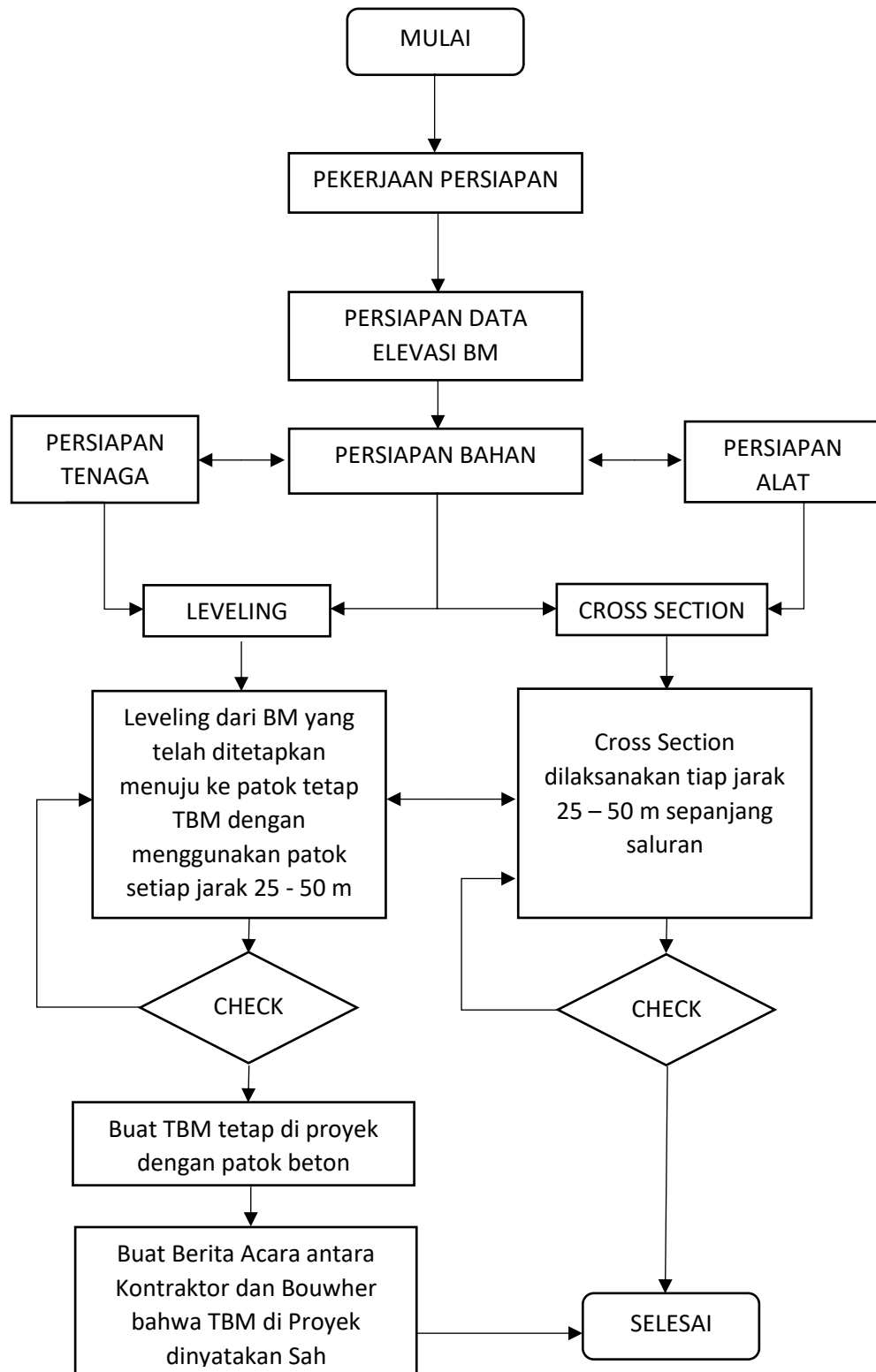
- Cross section dilaksanakan setiap jarak 25 atau 50 m as bendungan
- Cross section dilaksanakan dengan levelling untuk memanjangnya.
- Pemasangan patok cross section ada beberapa patok antara lain:



1. Patok as setelah ditanam kelihatan di permukaan tanah + 15 cm dan 10 cm dari atas di cat merah
2. Patok batas sementara pinggir-pinggir 2 buah ditanam dan muncul 15 cm dan yang 10 cm dicat biru.
3. Membuat sket setiap profil sesuai pengukuran dan perubahan tanahnya.
  - Check apakah betul secara sepintas, bila betul diteruskan ke profil berikutnya.
  - Sket berupa daftar angka, untuk digambar / dihitung
  - Dalam pembuatan gambar skalanya harus benar
  - Cara menghitung dilarang keras menggunakan skala gambar, akan tetapi menggunakan perhitungan matematika ke arah vertikal maupun horisontal.
  - Setelah gambar / perhitungan betul, kembali mengukur untuk membuat crosssection sesuai rencana pengukuran akhir.
  - Sehingga timbunan dan galian dapat diketahui



### 2.1.8 Flow Chart Pengukuran Level dan Cross Section





### **BAB III**

#### **PERBAIKAN TANAH PONDASI**

##### **3.1 Pekerjaan Galian**

Pekerjaan ini umumnya diperlukan untuk pembuatan saluran air dan selokan, untuk formasi galian atau pondasi pipa, gorong-gorong, pembuangan atau struktur lainnya, untuk pembuangan bahan yang tak terpakai dan tanah humus, untuk pekerjaan stabilisasi lereng dan pembuangan bahan longsor, untuk galian bahan konstruksi dan pembuangan sisa bahan galian, untuk pengupasan dan pembuangan bahan perkerasan beraspal pada perkerasan lama, dan umumnya untuk pembentukan profil dan penampang badan jalan.

Sebelum pekerjaan dilaksanakan, daerah kerja dibersihkan lebih dahulu dari pepohonan, semak belukar, sisa-sisa bangunan, sampah, akar-akar pohon, dan semua material dibuang sesuai dengan tempat yang disepakati oleh Direksi, peralatan yang diperlukan adalah bulldozer, chain saw, dump truck dan peralatan bantu lainnya. Dan apabila memungkinkan adanya pembakaran, harus diusahakan sedemikian rupa dengan resiko akibat pembakaran seminimal mungkin. Setelah itu baru dapat dilakukan prosedur galian yang sesuai. Tanah galian sendiri dibagi menjadi dua yaitu ada yang memenuhi syarat sebagai bahan material timbunan sedangkan ada yang tidak sesuai.

Untuk mendapatkan galian pondasi yang tepat harus dilaksanakan dengan memilih metode yang memadai sehingga kekuatan pondasi tubuh bendungan dapat dijaga. Pondasi dari tubuh bendungan harus cukup kuat untuk menahan hubungan daya dukung, gaya geser, aliran buluh (piping). Apabila tidak mampu menahan salah satu dari hal tersebut maka material tersebut harus segera dibongkar. Namun apabila dalam pengerjaannya material tersebut dirasa sangat mahal. Perlu dilakukan pertimbangan masalah biaya galian dengan biaya perbaikan pondasi itu sendiri.

##### **3.2 Prosedur Penggalian**

- Penggalian harus dilaksanakan menurut kelandaian, garis, dan elevasi yang ditentukan.
- Pekerjaan galian harus dilaksanakan dengan gangguan yang seminimal mungkin terhadap bahan di bawah dan di luar batas galian.
- Bilamana bahan yang terekspos pada garis formasi atau tanah dasar atau pondasi dalam keadaan lepas atau lunak atau kotor atau tidak memenuhi syarat, maka bahan





tersebut harus seluruhnya dibuang dan diganti dengan timbunan yang memenuhi syarat.

- Bila mana batu, lapisan keras atau bahan yang sukar dibongkar dijumpai pada garis formasi untuk selokan yang diperkeras, pada tanah dasar untuk perkerasan maupun bahu jalan, atau pada dasar galian pipa atau pondasi struktur, maka bahan tersebut harus digali 15 cm lebih dalam sampai permukaan yang mantap dan merata. Tonjolan-tonjolan batu yang runcing pada permukaan yang terekspos tidak boleh tertinggal dan semua pecahan batu yang diameternya lebih besar dari 15 cm harus dibuang. Profil galian yang disyaratkan harus diperoleh dengan cara menimbun kembali dengan bahan yang memenuhi syarat dan dipadatkan.
- Peledakan sebagai cara pembongkaran batu hanya boleh digunakan jika tidak praktis menggunakan alat bertekanan udara atau suatu penggaru (ripper) hidrolis berkuku tunggal. Peledakan dilarang dan penggalian batu dilakukan dengan cara lain, jika, peledakan tersebut berbahaya bagi manusia atau struktur di sekitarnya.
- Perlu disediakan anyaman pelindung ledakan (heavy mesh blasting) untuk melindungi orang, bangunan dan pekerjaan selama penggalian. Jika dipandang perlu, peledakan harus dibatasi waktunya.
- Penggalian batu harus dilakukan sedemikian, apakah dengan peledakan atau cara lainnya, sehingga tepi-tepi potongan harus dibiarkan pada kondisi yang aman dan serata mungkin. Batu yang lepas atau bergantung dapat menjadi tidak stabil atau menimbulkan bahaya terhadap pekerjaan atau orang, harus dibuang, baik terjadi pada pemotongan batu yang baru maupun yang lama.

### **3.3 Pengamanan pekerjaan galian**

- Selama pelaksanaan pekerjaan galian, lereng sementara galian yang stabil dan mampu menahan pekerjaan, struktur atau mesin di sekitarnya, harus dipertahankan sepanjang waktu, penyokong (shoring) dan pengaku (bracing) yang memadai harus dipasang bilamana permukaan lereng galian mungkin tidak stabil. Bilamana diperlukan, Kontraktor harus menyokong atau mendukung struktur di sekitarnya, yang jika tidak dilaksanakan dapat menjadi tidak stabil atau rusak oleh pekerjaan galian tersebut.
- Peralatan berat untuk pemindahan tanah, pemadatan atau keperluan lainnya tidak diijinkan berada atau beroperasi terlalu dekat dari tepi galian parit untuk gorong-gorong pipa atau galian pondasi untuk struktur, terkecuali bilamana pipa atau



struktur lainnya yang telah terpasang dalam galian dan galian tersebut telah ditimbun kembali dengan bahan yang disetujui dan telah dipadatkan.

- Cofferdam, dinding penahan rembesan (cut off wall) atau cara lainnya untuk mengalihkan air di daerah galian harus dirancang sebagaimana mestinya dan cukup kuat untuk menjamin bahwa keruntuhan mendadak yang dapat membanjiri tempat kerja dengan cepat, tidak akan terjadi.
- Dalam setiap saat, bilamana pekerja atau orang lain berada dalam lokasi galian, dimana kepala mereka, yang meskipun hanya kadang-kadang saja, berada di bawah permukaan tanah, maka Kontraktor harus menempatkan seorang pengawas keamanan di lokasi kerja yang tugasnya hanya memantau keamanan. Sepanjang waktu penggalian, peralatan galian cadangan (yang belum dipakai) serta perlengkapan P3K harus tersedia pada tempat kerja galian.
- Bahan peledak yang diperlukan untuk galian batu harus disimpan, ditangani, dan digunakan dengan hati-hati dan di bawah pengendalian yang extra ketat sesuai dengan Peraturan dan Perundang-undangan yang berlaku. Kontraktor harus bertanggung-jawab dalam mencegah pengeluaran atau penggunaan yang tidak tepat atas setiap bahan peledak dan harus menjamin bahwa penanganan peledakan hanya dipercayakan kepada orang yang berpengalaman dan bertanggung-jawab.
- Semua galian terbuka harus diberi rambu peringatan dan penghalang (barikade) yang cukup untuk mencegah pekerja atau orang lain terjatuh ke dalamnya, dan setiap galian terbuka pada lokasi jalur lalu-lintas maupun lokasi bahu jalan harus diberi rambu tambahan pada malam hari berupa drum yang dicat putih (atau yang sejenis) beserta lampu merah atau kuning guna menjamin keselamatan para pengguna jalan.



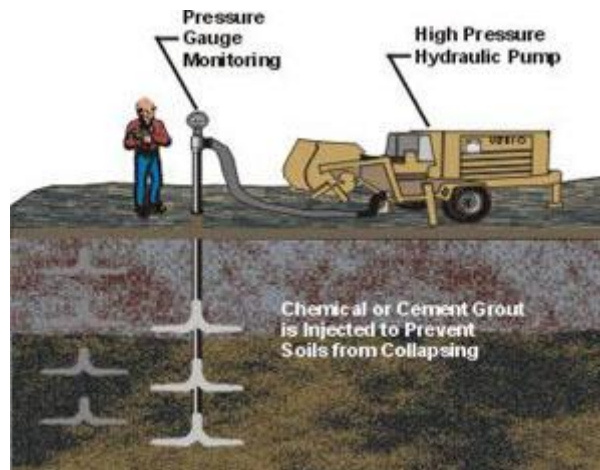
### 3.4 Pekerjaan Grouting

Pekerjaan grouting adalah pekerjaan memasukkan bahan yang masih dalam keadaan cair untuk perbaikan tanah, dengan cara tekanan, sehingga bahan tersebut akan mengisi keretakan yang ada dan lubang – lubang yang ada. Kemudian, setelah beberapa saat bahan tersebut akan mengeras dan menjadi satu dengan tanah yang ada. Bahan grouting sendiri bermacam macam. Antara lain:

1. Campuran semen dan air
2. Campuran semen, abu batu, dan air
3. Campuran semen, clay, dan air
4. Campuran semen, clay, pasir dan air
5. Aspal
6. Campuran clay dan air
7. Campuran bahan kimia

### 3.5 Tujuan Grouting

1. Memperkuat formasi dari lapisan tanah dan menjadikan tanah tersebut menjadi padat/keras, sehingga lapisan tersebut dapat mampu mendukung beban bangunan yang direncanakan. Seperti dijelaskan diatas bahwa tanah pasti memiliki pori pori dan lubang yang dapat menjadikan bangunan menjadi tidak stabil. Sehingga rongga/lubang ini harus diisi dengan bahan pengisi yang kuat yang akhirnya lapisan tanah di bawah akan menjadi bagian pondasi yang kuat.

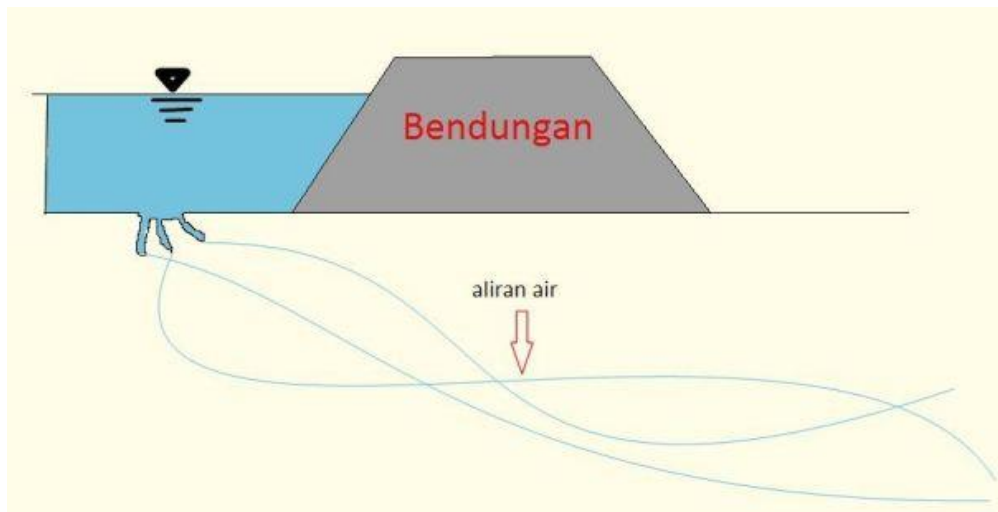


Gambar 03.1 Ilustrasi Pekerjaan Grouting

2. Untuk menahan aliran air terutama pada bangunan dam. Dikarenakan air dapat mengalir melalui bawah bangunan dam yang jika terlalu lama dibiarkan, air tersebut

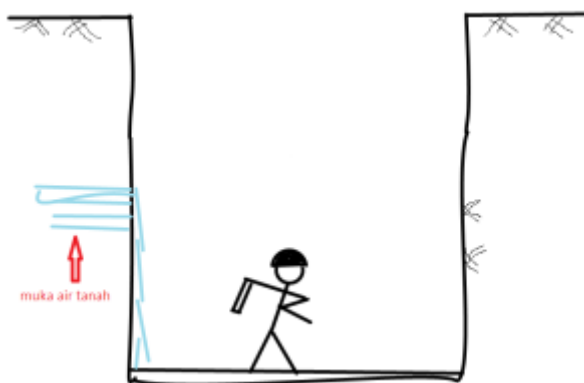


akan membawa partikel tanah sehingga terjadi rongga rongga dibawah bangunan dam. Sehingga bangunan dam akan menjadi tidak stabil.



Gambar 03.2 Ilustrasi Arah Aliran Air yang Mengalir di Bawah Bendungan

3. Untuk menahan aliran air tanah agar tidak masuk ke dalam suatu pekerjaan bangunan yang sedang berjalan. Terutama apabila pekerjaan tersebut dilakukan di bawah muka air tanah.



Gambar 03.3 Ilustrasi Pekerjaan di bawah muka air tanah

Secara umum, grouting diperlukan pengeboran. Pengeboran grouting akan dilakukan sesuai dengan gambar kerja yang disetujui. Pelaksanaan grouting sendiri tidak dilakukan hanya pada tubuh bendungan saja, namun dilaksanakan pada bangunan spillway yang berada di samping tubuh bendungan dimana daerah tersebut dapat terjadi rembesan air.

### 3.6 Jenis jenis grouting

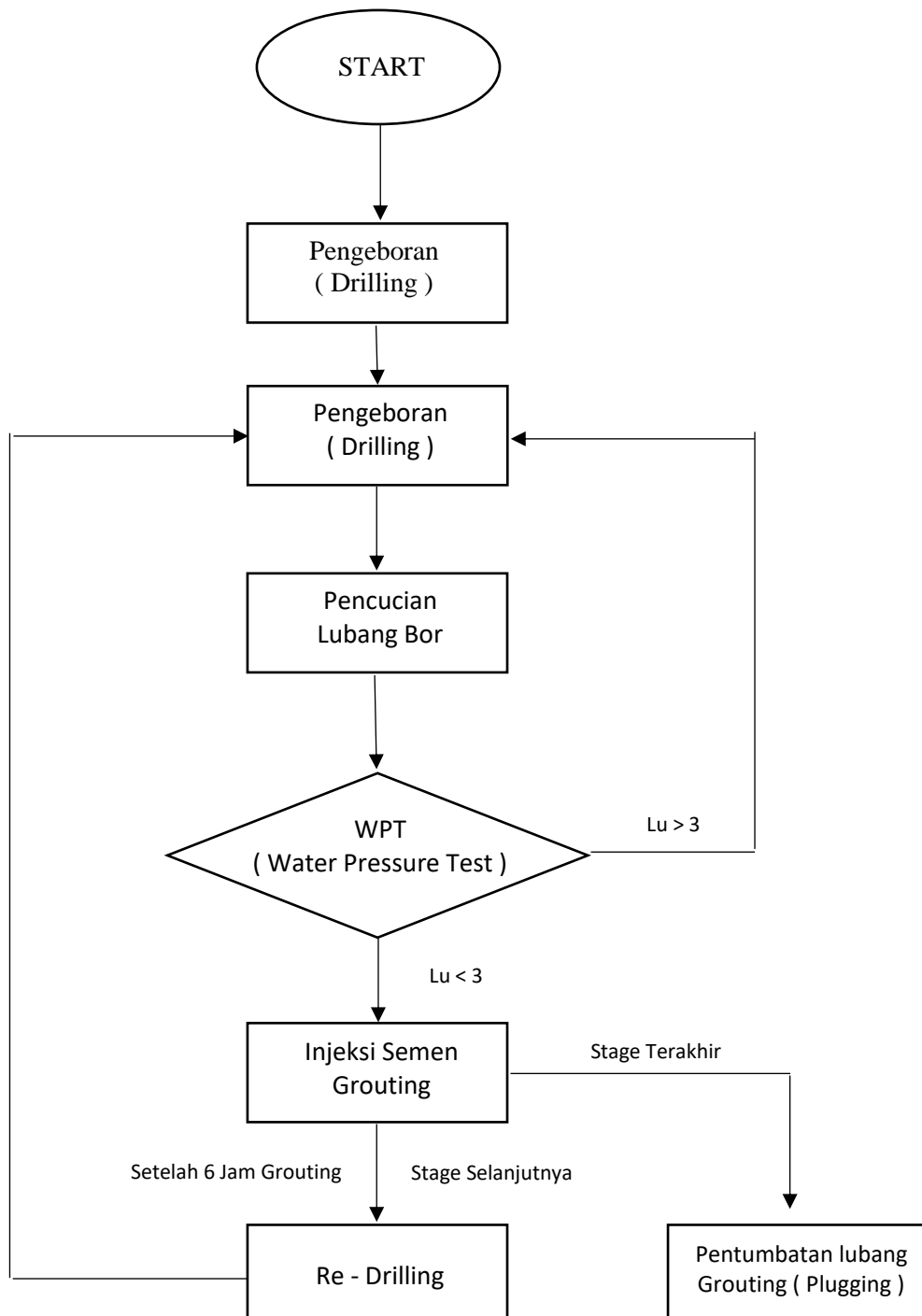
Tipe grouting berdasarkan fungsinya dibagi menjadi 3, antara lain :



1. Curtain grouting : Bertujuan untuk mengurangi rembesan air lewat bawah pondasi dan abutement
2. Blanket Grouting : Untuk mengurangi gaya tekan ke atas
3. Consolidation Grouting : Untuk menutup lubang, celah, retakan yang ada di bawah pondasi bendungan sehingga bendungan menjadi lebih kuat. Selain itu consolidation grouting juga menambah modulus deformasi batuan

### 3.7 Metode Pelaksanaan

Secara garis besar, Flowchart Pelaksanaan Grouting adalah sebagai berikut :





1. Menentukan Posisi titik grouting

Penentuan titik grouting berpatokan pada stasiun yang ditentukan di lapangan melalui penyelidikan oleh tenaga ahli. Sedangkan jarak tiap titik Grouting disesuaikan dengan kebutuhan.

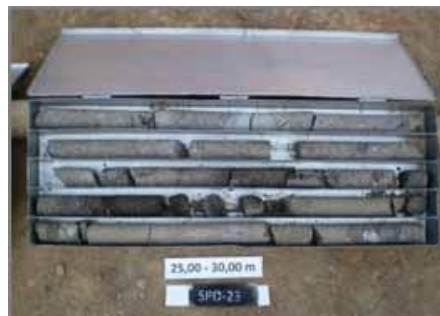
2. Pekerjaan Drilling

Sebagai referensi, pada Bendungan Jatibarang pengeboran tanah dilakukan dengan jarak stage ( 5 meter ) sesuai dengan kedalaman rencana dalam gambar kerja. Lama waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeboran bisa berbeda bergantung kepada jenis batuan yang terkandung di dalamnya. Pekerjaan Drilling dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Pekerjaan Core Drilling ( dia 66 mm – 76 mm )

Pekerjaan Core drilling dilakukan pada titik Pilot Hole dan Check Hole. Tujuan dari pekerjaan ini ialah dilakukan pengambilan sampel batuan

- Pilot Hole : Berfungsi untuk mengambil sampel tanah sedalam yang direncanakan. Pengambilan sampel dilakukan dengan stang drilling ukuran 66 mm ( Bendungan Jatibarang ) & 76 mm ( Bendungan Jatigede ). Setelah didapat, sample diberikan ke pihak konsultan. Setelah itu rotary drilling dilakukan.

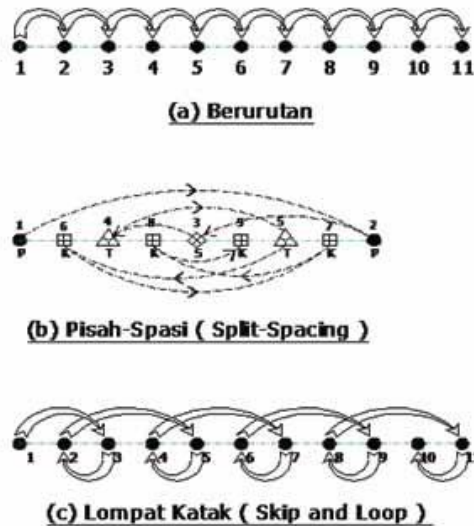


Gambar 03.4 Contoh Pengambilan Sampel Tanah

- Check Hole : Berfungsi untuk mengecek hasil rotary drilling yang sebelumnya telah dilaksanakan. Pekerjaan check hole terdiri dari drilling, WPT ( Stage 1 ), dan grouting tiap stage
- b. Pekerjaan Rotary Drilling / Non Core Drilling ( dia 46 mm )
- Pekerjaan drilling menggunakan mata bor berdiameter 46 mm. Pengeboran dilakukan pada spillway ( titik primer, secondary, dan tersier ) dan Dam ( Blanket,

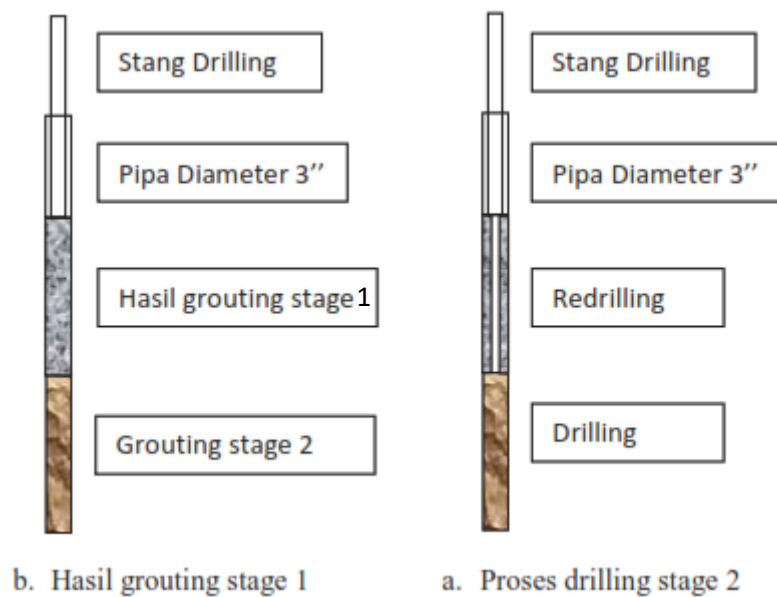


Curtain, dan Konsolidasi ). Pada pengeboran ini tidak diambil sampel batuan, setelah pengeboran dapat diteruskan proses WPT & Grouting. Metode pemindahan urutan pekerjaan grouting dapat diterapkan dengan sistem berurutan, pisah-spasi, atau lompat katak sesuai dengan gambar berikut



Gambar 03.5 Macam – macam skema untuk Grouting

Untuk proses drilling digunakan sistem downstage ( descending ), yaitu dengan drilling perstage dari atas ke bawah (a). Untuk proses grouting stage di bawahnya harus di drilling dengan campuran semen dan air di atasnya (b). Metode ini dipilih untuk mengatasi keruntuhan tanah atau batuan di atasnya

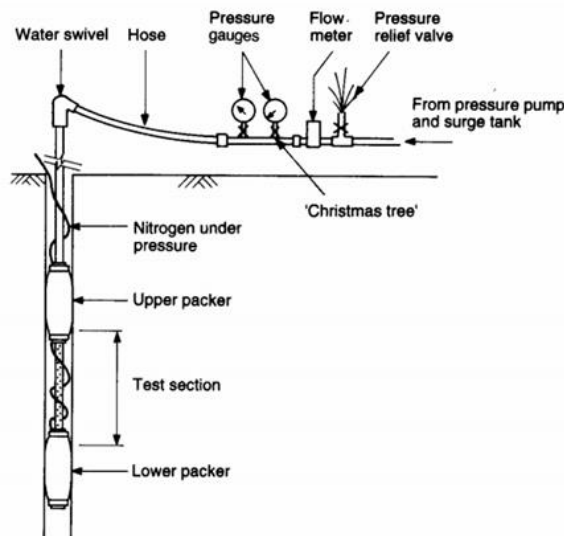


Gambar 03.6 Proses Sistem Down Stage



c. Pekerjaan Water Pressure Test

Kondisi tanah di bawah bendungan sangat sulit untuk ditebak, maka dari itu perlu di cek permeabilitas dari tanah di bawah bendungan dengan Water Pressure Tes ( WPT ). Tujuan dari WPT ialah untuk mengetahui jumlah volume air per menit yang masuk atau merembes ke dalam tanah. Data debit air inilah nanti didapatkan nilai Lugeonnya.



Gambar 03.7 Skema Pekerjaan Water Pressure Test

Nilai Lugeon merupakan suatu faktor yang penting untuk diketahui secara terperinci dalam melakukan pekerjaan grouting. Adapun daerah cakupan dari percobaan permeabilitas pada suatu rencan abendungan untuk kepentingan ini adalah sampai perlu tidaknya titik tersebut di grouting. Jenis WPT yang dilakukan adalah jenis single test, yaitu pengetesan dengan satu nilai tekanan tertentu dalam waktu lima menit per tahap ( stage ). Metode pengujiannya ialah dengan cara memasukkan air bertekanan ke dalam lubang bor, menggunakan peralatan yang disebut packer yang digunakan untuk menyumbat lubang bor. Sedangkan peralatan lain yang digunakan dalam uji permeabilitas antara lain :

1. Waterflow Meter : Mengetahui debit air
2. Stopwatch : Menentukan Waktu Rembesan
3. Pressure Gauge : Mengetahui tekanan air
4. Water Pump : Memompa Air





Tabel 3.1 Pressure Rencana Tiap Stage

Stage	Pressure Rencana (kg/cm <sup>2</sup> )
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6

Tabel 3.2 Contoh Penilaian Form Lugeon

Minute	1st		2nd	
	Po : 2 kg/cm <sup>2</sup>		Po : 3 kg/cm <sup>2</sup>	
	P : 4,06 kg/cm <sup>2</sup>		P : 7,06 kg/cm <sup>2</sup>	
	Reading	Injection	Injection	Injection
0	560		615	
1	571	11	627	12
2	582	11	640	13
3	591	9	652	12
4	599	8,5	664	12
5	608	8,5	675	11
Total		48		60
Average		9,6		12
Lu		4,73		3,40

Urutan perhitungan nilai Lu :

- Menentukan pressure rencana untuk stage pertama (1<sup>st</sup>), dilihat dari tabel stage awal menggunakan pressure 2 kg/cm<sup>2</sup>
- Menentukan nilai P dengan  $P = P_0 + P_1$
- Menentukan P1 dengan rumus  $P_1 = (h_3 + h_2)/10$ . Dimana h3 adalah rencana kedalaman lubang tersebut, dan h2 adalah ketinggian pressure gauge dari tanah.
- Buka dan setel valve sehingga mendapat pressure yang direncanakan, dapat dibaca pada pressure gauge.
- Nilai reading menit 0 s/d 5 didapat dari flowmeter
- Nilai injection adalah nilai yang masuk per menit. Injection menit ke 1 =  $571 - 560 = 11$  Liter
- Mencari nilai lugeon dengan rumus  $Lu = (10 \times Q) / (L \times P)$ . Dimana L adalah Panjang stage yang dihitung.



- Apabila nilai Lugeon di atas 3 maka pekerjaan grouting diperlukan dengan rincian tabel sebagai berikut

Tabel 3.3 Tabel Lugeon dan Deskripsi Grouting

Nilai Lugeon	Deskripsi
1	Derajat permeabilitas pada pondasi yang ketat (tight) dan hampir tidak perlu di grouting.
3	Pondasi perlu sedikit digrouting, apabila ditempati bendungan beton atau air waduknya sangat berharga, cenderung piping sehingga perlu penghentian rembesan.
5	Perlu dijamin dengan grouting yang ekstensif untuk bendungan beton atau grouting regional untuk bendungan urugan tanah atau batu.
10	Perlu dijamin dengan grouting untuk semua type bendungan.
20	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar relatif kecil.
100	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar yang relatif kasar.
	Dapat pula pada pondasi dengan kekar jarang, namun bukaannya sangat lebar.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa

- Apabila Nilai Lugeon  $< 3$  maka tidak perlu dilakukan grouting, dikarenakan tanah relatif kedap air
- Apabila sementasi telah dimasukkan sebanyak 4 kali adukan (  $4 \times 150$  liter ) dan hasil tekanan masih tetap maka komposisi adukan harus dirubah (Contoh 5:1 menjadi 3:1)

d. Pekerjaan Grouting

Tahap pekerjaan grouting dilakukan dengan cara menyuntikkan bahan semi kental ( slurry material ) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor. Untuk penentuan campuran awal digunakan urutan sebagai berikut

- Jika Nilai Lugeon 5 – 20 maka campuran awal semen : air adalah 1 : 5
- Jika Nilai Lugeon lebih dari 20 maka campuran awal semen : air adalah 1 : 3

Campuran akan dirubah ke perbandingan yang lebih ental sampai tekanan maksimum grouting tercapai dengan urutan sebagai berikut



- a. Campuran 1:5 sampai 240 liter/min/m, jika tekanan belum tercapai maka dirubah ke
- b. Campuran 1:3 sampai 240 liter/min/m, jika tekanan belum tercapai maka dirubah ke
- c. Campuran 1:2 sampai 240 liter/min/m, jika tekanan belum tercapai maka dirubah ke
- d. Campuran 1:1 sampai 480 liter/min/m, jika tekanan belum tercapai maka grouting dihentikan dan lubang dicuci kemudian dilakukan grouting selama 8 jam

Grouting dianggap selesai apabila tekanan maksimum dapat tercapai dan aliran volume injeksi yang masuk lebih kecil atau sama dengan 0.2 liter/min/m. Campuran yang lebih kental misalnya 1:0.8 atau lebih kental diperlukan untuk mengatasi jika terjadi kebocoran.

Untuk mengetahui banyak sedikitnya hasil sementasi ada istilah yang dinamakan *grout take*, yaitu banyaknya semen yang masuk ke dalam lubang per meter Panjang lubang bor yang dinyatakan dalam kg/m. Cara perhitungan nilai grout take, sebagai berikut :

1. Pastikan lokasi siap dilaksanakan grouting
2. Pastikan campuran grouting sudah sesuai dengan spesifikasi di batching plan dan siap dialirkan
3. Menyetel pressure sesuai spesifikasi dengan cara membuka gauge valve
4. Didapat jumlah kumulatif dan pressure cairan, terlihat di automatic recorder

Semisal untuk sementasi sepanjang 5m, jumlah kumulatif semen yang berhasil dipompakan sebanyak 200 kg maka grout take nya adalah 40 kg/m. Dari hasil grout take dapat diketahui tinggi rendahnya hasil sementasi seperti terlihat pada tabel berikut:



Tabel 3.4 Kapasitas Grouting

No.	Besarnya grout take (kg/m)	Keterangan
1.	0 - 25	Rendah (low)
2.	26 - 50	Cukup rendah (moderately low)
3.	51 - 100	Cukup (moderate)
4.	101 - 200	Cukup tinggi (moderately high)
5.	210 - 400	Tinggi (high)
6.	>400	Sangat tinggi (very high)

e. Pekerjaan Plugging

Lubang yang dibuat oleh core drilling dan rotary drilling harus ditutup dengan campuran semen dan air sehingga tertutup rapat dari air permukaan tanah

Resiko pekerjaan Grouting adalah pada tahap drilling. Dikarenakan pekerjaan drilling tidak dapat direncanakan waktu pelaksanaannya karena kondisi tanah yang dikerjakan sangat beragam. Sehingga untuk pengerjaan drilling diharuskan untuk menyiapkan alat drilling yang banyak untuk menghindari keterlambatan pekerjaan

### 3.8 Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Pondasi

1. Pemasangan Bowplank , penentuan titik pile +0,00 (BM). Bowplank dipasang dengan menggunakan kayu kelas III yang berguna penempatan benang sebagai titik acuan as bangunan pondasi dan tie beam
2. Pekerjaan penggalian dilakukan dengan alat berat excavator dengan tipe Hydraulic Excavator Volvo EC200D dikarenakan kecepatan swing tercepat dikelasnya dengan kemampuan bucket capacity 0,8 m<sup>3</sup>



Gambar 03.8 Excavator Volvo EC200D



3. Penumpukan tanah hasil galian harus dijauhkan dari galian dengan menggunakan Dump Truck dengan tipe Mitsubishi Colt Diesel 125 PS dengan kemampuan membawa berat maksimal total 7,5 ton.



Gambar 03.9 Colt Diesel 125PS

4. Setelah dilakukan pembersihan lokasi dan penentuan titik grouting, selanjutnya adalah pemasangan alat drilling, yang mana pada tahap pekerjaan drilling terdapat 2 bagian yaitu Core Drilling dan Rotary Drilling,
5. Pemasangan Stang Drilling dengan memperhatikan bentuk dan morfologi tanah di lapangan.
6. Pengeboran dilakukan menggunakan mesin diesel.
7. Dilakukan Water Pressure Test dengan mengamati nilai yang ada pada pressure gauge guna mengetahui untuk mengetahui jumlah volume air per menit yang masuk atau merembes ke dalam tanah. Data debit air inilah nanti didapatkan nilai Lugeonnya.
8. Melakukan pekerjaan grouting dengan menyuntikkan bahan semi kental ( slurry material ) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor. Campurannya didapatkan berdasarkan nilai Lugeon yang telah diketahui.
9. Setelah pekerjaan grouting, Lubang yang dibuat oleh core drilling dan rotary drilling harus ditutup dengan campuran semen dan air sehingga tertutup rapat dari air permukaan tanah

Secara garis besar Untuk pekerjaan poin 4-9 dapat dilihat pada diagram berikut :



Pembersihan Lokasi



Pemasangan  
Alat Drilling



Pemasangan  
Stang Drilling



Pengeboran



Plugging



Grouting

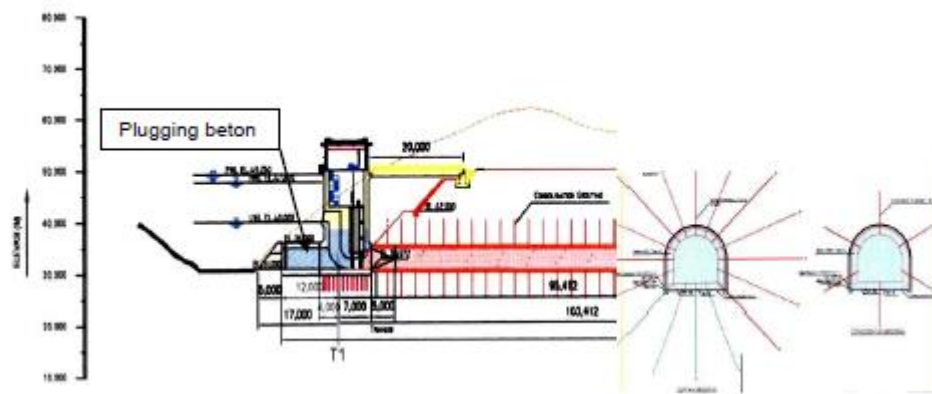


WPT

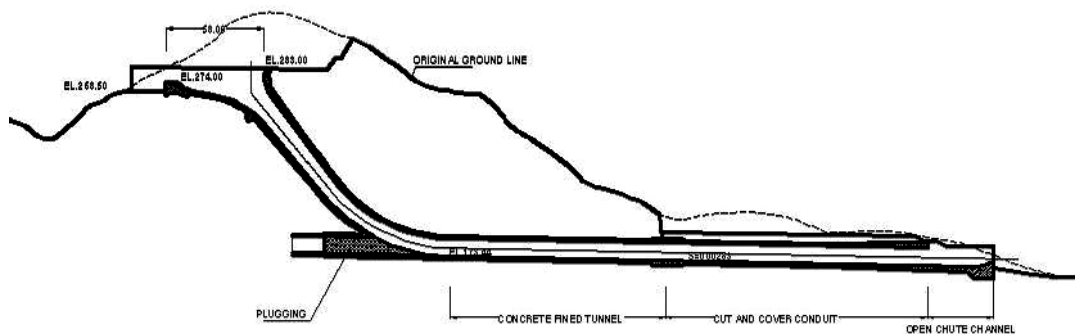
**BAB IV**  
**PEKERJAAN TEROWONGAN PENGELAK/KONDUIT PENGELAK**

#### 4.1 Pekerjaan Terowongan Pengelak

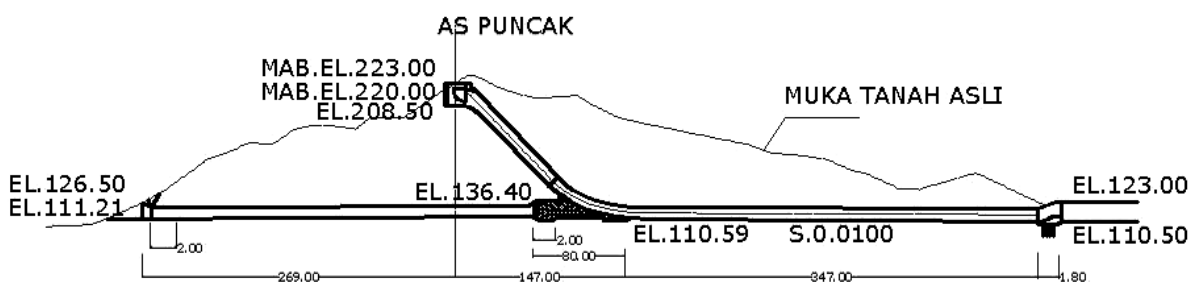
Pada suatu lembah yang sempit, tidak mungkin untuk melakukan penggalian fondasi bendungan tanpa mengalihkan aliran sungai terlebih dahulu. Untuk kondisi lembah sempit ini, pengelakan sungai melalui terowongan akan lebih layak dibandingkan saluran konduit. Terowongan tersebut dapat dibuat pada satu sisi bukit tumpuan atau pada dua bukit tumpuannya. Terowongan pengelak ini dapat dimanfaatkan dan dikombinasikan sebagai bangunan pelimpah, sehingga dapat menekan biaya proyek secara keseluruhan (contoh bendungan Batutege di Lampung).



### Gambar 04.1 Ilustrasi Plugging



Gambar 04.2 Ilustrasi Terowongan Pengelak Disatukan Dengan Pelimpah,  
Bendungan Batutegi, Lampung







Gambar 04.3 Terowongan Pengelak dan Pelimpah Bendungan Cirata, Jawa Barat

Penutupan permanen terowongan pengelak dapat dilakukan menggunakan beton penyumbat (concrete plugging) di dalam terowongan. Bila terowongan pengelak (sementara) ini juga digunakan sebagai terowongan spillway, penyumbat biasanya diletakkan di bagian hulu dari bagian pertemuan terowongan. Kunci penahan (keyways) terhadap geser dapat dibuat pada batuan fondasi atau lining terowongan. Untuk perkuatan dan menjamin kedapannya, disekeliling penyumbat biasanya digROUTING. Penutupan sungai boleh dilakukan dengan memperhatikan syarat-syarat spesifikasi debit sungai dan setelah memperoleh kepastian hasil kajian hidrologi dengan menggunakan periode air rendah yang paling menguntungkan.

Metode Penyumbatan saluran pengelak (plugging) :

- Pembongkaran beton lining dan galian batu pada bagian sumbat, kemudian konstruksi gerigi (shear-key) dilaksanakan beserta beton penyumbat. Cara ini memerlukan waktu untuk pembongkaran lining sedangkan waktu penyumbatan terbatas pada waktu musim kemarau.
- Konstruksi gerigi penyumbat dilaksanakan bersamaan pada waktu pelaksanaan terowong, pada waktu penutupan hanya ditambah beton penyumbat. Perlu diperhatikan hubungan antara beton lama berupa gerigi penyumbat.

Beton penyumbat harus menumpu pada permukaan batuan pondasi yang keras. Bila diperlukan perkuatan batuan pondasi dapat dilaksanakan dengan pemasangan angker (rock-bolt) dan shotcrete, kemudian grouting konsolidasi dapat dilaksanakan. Bersamaan dengan pelaksanaan penyumbatan, lubang sumbat dipasang untuk saluran rembesan air dan juga berfungsi sebagai galeri inspeksi. Proses pendinginan beton (cooling concrete) perlu dilaksanakan untuk mengatasi kenaikan temperatur pada waktu pembetonan.

#### **4.2 Pekerjaan Dewatering**

Dalam pelaksanaan bendungan pada saat memilih pekerjaan sementara untuk dewatering perlu dipertimbangkan antara lain :

1. Karakteristik pengaliran air sungai, frekuensi banjir, besar banjir puncak, besaran banjir dan lama waktu banjir.
2. Kondisi topografi lokasi bendungan (lebar sungai, ada sudut belahan sungai).
3. Kondisi geologi, pondasi dan ukuran dari tubuh bendungan.
4. Lama waktu pengalihan air bila dibandingkan dengan waktu pelaksana bendungan.





Dewatering ada beberapa sistem :

1. Pengaliran air seluruhnya melalui Terowongan pengaliran.
2. Penutupan separuh sungai.
3. Dewatering sistim pompa biasa kapasiti sesuai kebutuhan
4. Dewatering sistim bertingkat

Metode pelaksanaan adalah sebagai berikut :

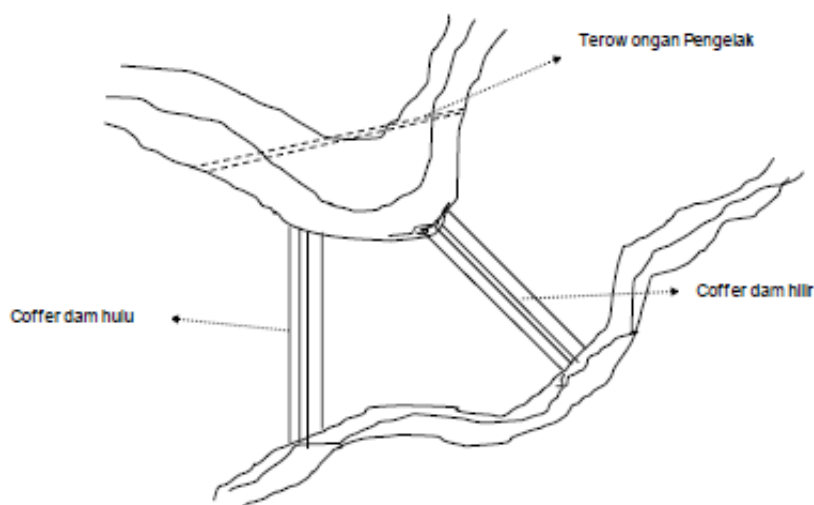
#### 1. Pengalihan Air

Pengalihan air seluruhnya melalui terowongan pengaliran. Bila lebar sungai tidak terlalu lebar biasanya cara ini yang dipakai. Keuntungan yang didapat dengan cara ini antara lain :

- Seluruh permukaan yang direncanakan untuk pondasi bendungan dapat digali.
- Setelah selesai pekerjaan kemungkinan terowongan dapat dipergunakan untuk keperluan lain.
- Cofferdam (bendungan pembantu) dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari bendungan.

Untuk menjaga adanya aliran balik (back water) dari outlet terowongan pengalir maka pada bagian belakang konstruksi bendungan perlu pula dibuat coffer dam hilir yang sifatnya sementara asal cukup untuk menahan air agar tidak membalik.

Cofferdam (bendungan pembantu) hulu biasanya dipergunakan menjadi bangunan tetap merupakan bagian dari bendungan sedangkan yang bagian hilir pada umumnya dibongkar, mengingat bila cofferdam hulu gagal menahan banjir maka resiko yang diakibatkan akan fatal baik dari segi biaya maupun waktu.



Gambar 04.4 Ilustrasi Penempatan Cofferdam



Sehubungan dengan hal tersebut pembangunan bendungan hulu (coffer dam) harus dilakukan dengan hati-hati, kuat terhadap hal-hal yang mengakibatkan gagal dan biasanya syarat-syarat teknik /spesifikasi teknik sama dengan spesifikasi teknik bendungan utama (Main dam).

Pelaksanaan bendungan pembantu harus dilaksanakan dengan cepat pada waktu kemarau atau waktu air sungai rendah yang panjang, guna menghindari musim hujan dimana terjadi banjir, waktu pelaksanaan bendungan pembantu dapat dipercepat dengan menyiapkan stock material timbunan sedekat mungkin dengan lokasi khususnya bila daerah pengambilan material (borrow area) jauh dari lokasi.

Bentuk dewatering air di lokasi bendungan utama yang diakibatkan hujan atau dari lereng khususnya sebelum dilakukan penimbunan dapat dilakukan dengan pompa biasa, Submersible pump yang tipe shallow well. Untuk air yang mengalir dari tebing perlu dibuat bak / alat penampung dam dari bak tersebut dipompa keluar dekat lokasi. Bila diperlukan bisa dilakukan penutupan lubang dan dibuatkan saluran permanen keluar pada prinsipnya air tersebut tidak boleh dimatikan.

## 2. Penutupan Separuh Sungai

Metode ini digunakan biasanya bila sungai sangat lebar. Separuh dari lebar sungai dikeringkan dengan membuat tanggul ( Coffor Dam ). Galian untuk pondasi bendungan dikerjakan sebagian pada bagian yang tertutup sedangkan sisanya akan dikerjakan nanti. Biasanya untuk menyalurkan air dibuatkan saluran drainase dipondasi atau pada tubuh bendungan.

## 3. Dewatering sistem pompa biasa

- Lubang galian yang tergenang air siap dikeringkan
- Buat sumuran dipinggir galian yang posisinya lebih dalam dari elevasi galian yang ada dan terletak diluar rencana bangunannya
- Penempatan pompa dibuat yang strategis agar tidak mengganggu operasi pekerjaan yang lain.
- Apabila lubang galian cukup dengan panjang slang air maka pompa cukup diletakkan di permukaan tanah
- Sistem pemompaan dimulai / diperhitungkan sebelum jam kerja sampai kering, sehingga pelaksanaan pekerjaan tidak kehilangan waktu.

## 4. Dewatering sistem bertingkat



Sistem ini dilaksanakan apabila galian cukup dalam ditereng tebing sehingga pompa penghisap pembuang tidak bisa mencapai daerah pembuangan.

- Sistem ini seperti pompa biasa
- Pada daerah pembuangan awal (tahap 1) dibuat bak penampung
- Dari bak penampung dipompa lagi hingga pembuangan kedua dan seterusnya seperti ke pembuangan.

#### **4.3 Metode Pelaksanaan Pekerjaan Terowongan Pengelak/Konduit Pengelak**

##### **1. Clearing**

- a. Prosedur pekerjaan clearing dapat dilaksanakan dengan urutan pengerjaan bulldozer sebagai alat pembersih, penebang, pencabut akar, dan pemerata tanah lalu dilanjutkan excavator backhoe kapasitas bucket 0,6 m<sup>3</sup> sebagai alat pengangkut/pemindah material hasil clearing ke dump truck yang berfungsi memuat material untuk dibuang di spoilbank dan pada spoilbank material dihampar menggunakan bulldozer dengan kapasitas produksi 33 m<sup>3</sup>/jam.
- b. Pepohonan yang besar dan akarnya kuat ditumbangkan dan dicabut menggunakan alat berat berupa bulldozer 15 ton dengan kapasitas produksi perjam 33 m<sup>3</sup>/jam
- c. Untuk pepohonan yang kecil berupa semak semak dibersihkan dengan peralatan manual yaitu gergaji/chainsaw dan parang.
- d. Material dari hasil pembersihan dibuang pada lokasi yang jauh dari medan kerja (spoilbank) atau dibakar di lokasi yang aman.
- e. Bila area sudah bersih dari tanaman dan tonggak dan akar pohon, pekerjaan stripping / pengupasan tanah dilaksanakan dengan menggunakan alat berat bulldozer. Pekerjaan tersebut dilaksanakan untuk membuang semua material organik dan lapisan tanah yang jelek sehingga mendapatkan struktur tanah yang bebas dari material yang sifatnya mengganggu.

##### **2. Dewatering**

- a. Dibuat suatu perencanaan (design wellpoints) untuk memperoleh jumlah wellpoints yang diperlukan (letak dan jaraknya) dan kapasitas pompa yang akan digunakan. Jarak tiap wellpoints biasanya berkisar antara 1 sampai 4 meter, dengan suction lift



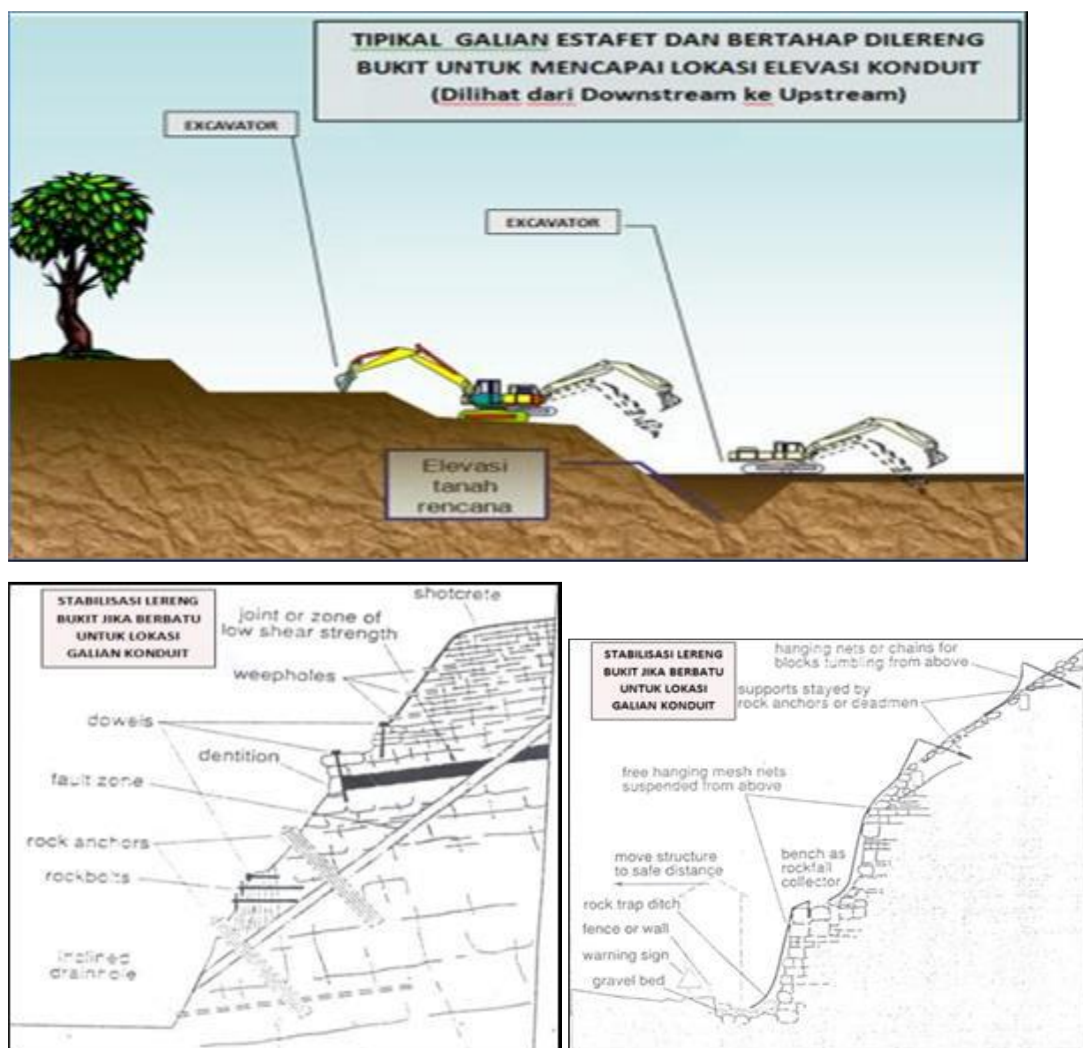
- (adalah ketinggian vertikal dari permukaan air yang harus dipompa ke atas oleh pompa terhadap pusat pompa) antara 5 sampai 7 meter.
- b. Dibuat sumur tes untuk mengetahui lapisan tanah dan tinggi muka air tanah, guna meyakinkan perencanaan yang ada.
  - c. Dipersiapkan saluran untuk mengalirkan air buangan dari pompa ke dalam saluran drainase yang ada. Hal ini perlu menjadi perhatian karena debit air yang dibuang kadang-kadang cukup besar
  - d. Dipasang wellpoint dengan kedalaman dan jarak tertentu pada bagian penghisapnya dihubungkan dengan header (pipa penghubung wellpoint). Kemudian headerpipe dihubungkan dengan dengan pipa pembuangan disambung dan diarahkan ke saluran pembuang.
  - e. Pada pemilihan sistem predrainage ini harus diperhatikan benar ketersediaan saluran drainase yang dapat menampung debit air yang harus dibuang per menitnya. Bila tidak tersedia saluran drainase yang cukup, akan timbul masalah baru, dalam rangka proses pengeringan (dewatering) dengan sistem predrainage ini. Untuk mengatasi masalah tersebut, biasanya air buangan dimasukkan kembali ke dalam tanah dengan membuat sumur-sumur resapan.
  - f. Pada titik kedudukan wellpoint dibor sampai kedalaman tempat bagian atas saringan Wellpoint terletak minimum 100 cm di bawah elevasi dasar galian (untuk tanah yang tidak seragam)\
  - g. Bila dasar galian terletak pada tanah lempung (clay), maka bagian atas saringan berjarak kurang lebih 15 cm dari permukaan clay.
  - h. Bila lapisan tanah terdiri dari pasir halus, maka saringan harus diletakkan sampai pada lapisan butir kasar. Hal ini untuk mencegah agar partikel halus dari tanah tidak ikut tersedot oleh pompa.
  - i. Dalam hal ini installasi pipa-pipa yang ada tidak boleh terjadi kebocoran, karena akan mengurangi efektifitas pompa yang digunakan.
  - j. Bila elevasi dasar galian sangat dalam dari muka air tanah, sedang maximum suction lift hanya 5-7 meter, maka dapat dipergunakan dua cara, yaitu :
    - Multy Stage Wellpoint system



- Kombinasi deep well dengan single stage wellpoint.

### 3. Pekerjaan Tanah

Metode yang di pilih untuk pekerjaan galian tanah adalah galian terbuka (open cut). Pekerjaan galian terbuka ini dilakukan dari dua arah yaitu hulu dan hilir, tetapi masih dalam kondisi kering dalam artian masih disisakan penghalang tanah supaya aliran air tidak dapat masuk kedalam galian saluran, pekerjaan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3. Pekerjaan gailan dilaksanakan menurut ukuran dan kedalaman yang ditunjukkan pada gambar teknis.



Gambar 04.5 Metode Penggalian Secara Estafet

Sumber : Wijaya Karya, 2014

Faktor keamanan dari kemiringan lereng open cut harus tetap di perhatikan, salah satunya dengan pembuatan brem minimal selebar 1 meter untuk seetiap ketinggian



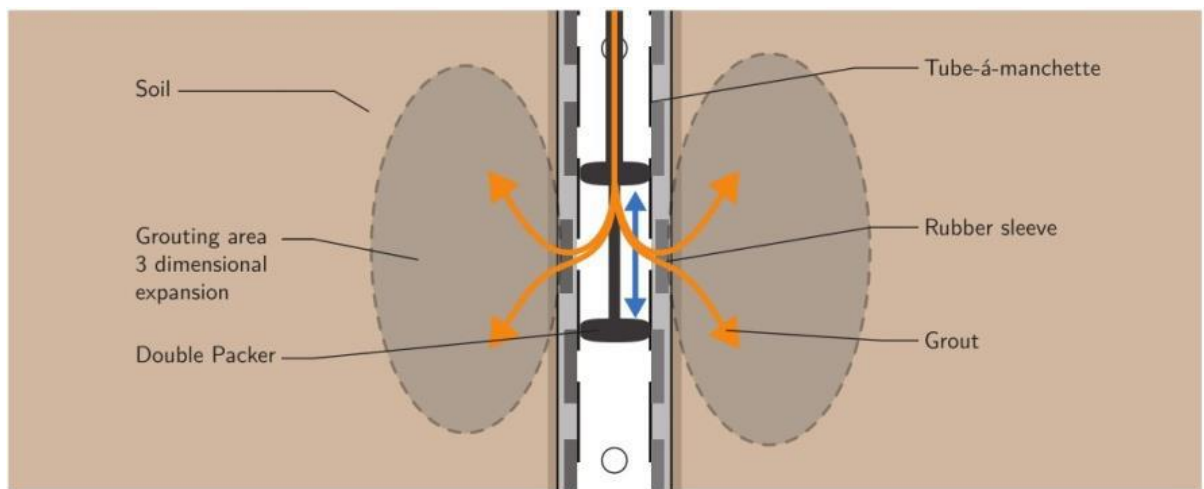
galian 5 meter. Pekerjaan tersebut membutuhkan alat berat berupa excavator sebagai penggali dan dump truck sebagai pengangkut material. Dalam setiap pekerjaan galian karena situasi lapangan tempat galian akan selalu dijaga tetap kering atau dibuatkan dewatering atau drainase yang memadai untuk menghindari / mengantisipasi kemungkinan keruntuhan formasi galian akibat air. Untuk mencegah terjadinya over excavation atau penggalian berlebihan terutama pada saluran pengelak, maka dibutuhkannya sedikit tenaga manusia yang bertujuan untuk mengurangi over excavation.

Setelah pekerjaan galian tanah terlaksanakan setiap tinggi galian 5 meter dilakukan pembuatan berem selebar 1 meter dan pemasangan angker sedalam 3 meter. Setelah itu pekerjaan galian tanah dan pembentukan kemiringan tanah.

#### **4. Pekerjaan Pondasi dan Lantai Kerja**

Pelaksanaan gruting dapat dilaksanakan dengan metode pelaksanaan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan peralatan pada area pekerjaan grouting.
2. Mempersiapkan material filler yaitu campuran semen dan air.
3. Pekerjaan dapat dimulai bila sudah mendapat persetujuan dari pengawas konstruksi.
4. Pekerjaan diawali dengan pengeboran tanah pada titik yang sudah ditandai patok, sedalam 15m.
5. Masukan pipa grouting kedalam tanah yang sudah dibor dan sambungkan dengan wadah yang berisi material pengisi.
6. Masukan material pengisi dengan cara injeksi menggunakan komproser.
7. Pekerjaan grouting dihentikan ketika terjadi penurunan tekanan secara tiba lalu dilanjutkan dengan kenaikan tekanan secara perlahan pada dial pengukur tekanan.
8. Jika pada dial pengukur tekanan tidak terjadi penurunan tekanan secara tiba atau tekanan pada dial tidak mengalami kenaikan atau penurunan maka dihentikan setelah material filler telah diinjeksi mencapai volume sebesar 2000 liter.
9. Proses pelaksanaan grouting dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 04.6 Injeksi Semen pada Metode Grouting TAM

Sumber : Gakis, 2016

10. Pekerjaan rantai kerja dikerjakan menggunakan alat berat concrete pump dan truck mixer. Cara pengerjaan per segmen hal ini diperlukan alat berat dalam pengerjaan berupa satu unit concrete pump dan unit truck mixer untuk mendapatkan pekerjaan yang kontinu untuk mendapat hasil beton yang bagus.
11. Posisi truck mixer dan concrete pump saling membelakangi dan perhatikan hydraulic concrete pump agar selalu bersih dan butuh pelumas hal ini dapat dilakukan dengan menaruh timba cor pada bawah hydraulic bergerak dan selalu cek pelumas pada hydraulic bisa juga dengan member plastic pada bawah tampungan beton ketika pemindahan beton basah dari truck mixer pada concrete pump.
12. Sebelum dituangkan dan dimasukkan kedalam concrete pump beton basah pada truck mixer harus diambil sample berupa kubus atau silinder sebanyak 3 sample pada setiap truk mixer untuk dilakukan pengujian dan dilakukan rekap untuk menandai beton basah dari truck mixer dan dilakukan pengecoran pada area mana.
13. Pergantian truck mixer harus dilakukan dengan cepat dan beton basah pada concrete pump tidak boleh kosong. Maka dari itu posisi truk mixer selanjutnya berada pada depan truk mixer sebelumnya dengan kondisi membelakangi truck sebelumnya.
14. Setelah truck mixer pertama selesai secara bersambung langsung digantikan dengan truckmixer ke-dua dan dengan cara yang sama berlanjut truck mixer ke-3.



15. Setelah pengecoran selesai lakukan curing pada hasil pembetonan lantai kerja dengan cara penyemprotan air dengan debit yang tidak deras setelah curing dilakukan tutup dengan kertas semen ataupun sejenisnya agar tidak terjadi hidrasi tinggi pada beton sehingga mengakibatkan retak pada beton.

## **5. Pekerjaan Terowongan Pengelak/Konduit Pengelak**

Pertama-tama yaitu pekerjaan bekisting dan pekerjaan pembesian dilakukan terlebih dahulu sesuai dengan spek teknis yang ada. Setelah itu Pelaksanaan pembetonan pada saluran pengelak dilakukan secara bertahap. pembuatan material pembetonan dikerjakan di batching plan yang tempatnya di bagian hilir bendungan  $\pm 200$  m dari saluran pengelak.

Pekerjaan pembetonan ini dapat dilaksanakan dengan metode sebagai berikut :

1. Pekerjaan dapat dilakukan setelah pekerjaan bekisting dan pembesian telah selesai.
2. Sebelum dilaksanakan tahap pengecoran, maka dilakukannya pengecekan bekisting dalam hal struktur dan letak, penulangan yang sesuai dengan spesifikasi teknis, dan telah disetujui oleh pihak owner.
3. Pembetonan dilakukan menggunakan alat truk mixer dan concrete pump. Truck mixer bertugas untuk membawa material (mix desain) dari batching plan ke saluran pengelak, sedangkan concrete pump digunakan untuk menampung material yang kemudian akan disemprotkan melalui selang. Penggunaan concrete pump jika area pembetonan tidak dapat dilalui oleh truk mixer.
4. Penempatan truck mixer harus membelakangi bagian belakang concrete pump untuk menuangkan material beton.
5. Proses pembetonan dimulai dari sisi 1 dimana bagian tersebut terletak pada bagian bawah dimensi saluran pengelak. Pengecoran persisi dilaksanakan dalam waktu seminggu 1x. Agar beton tersebut menjadi homogen dan kuat.
6. Pada saat pengisian beton kedalam harus didampingi dengan proses perojokan menggunakan vibrator berselang.
7. Perojokan dilakukan agar material beton menjadi homogen.
8. Setelah proses pengecoran terselesaikan, maka harus dilakukan proses curing.





9. Pekerjaan curing dilakukan dengan cara membasahi beton dengan menyiram air pada permukaan beton. Beton yang terkena sinar matahari ditutup menggunakan karung kosong.
10. Proses curing dilakukan setiap hari dan kondisi beton harus dalam keadaan basah permukaanya hingga beton berumur 28 hari.

Berikut adalah tahapan-tahapan awal pembuatan saluran pengelak hingga proses pembetonan dan clearing :

1. Menentukan letak as saluran pengelak, inlet dan outlet saluran pengelak dengan cara melaksanakan join inspections survei tersebut dilakukan dengan pengukuran awal pada posisi saluran pengelak.
2. Proses pembersihan lahan yang menggunakan alat berat sebagai alat bantu dan human resources sebagai pembantu pekerjaan kecil.
3. Melakukan penggalian saluran yang berada ditanah asli dengan mengikuti spesifikasi teknis yang telah di sepakati. Penggalian dilakukan dengan tipe penggalian terbuka, dimana saluran pengelak yang direncanakan berupa box conduit kombinasi. Pekerjaan galian dengan menggunakan alat berat dan human resources.
4. Apabila pada saat penggalian di temukannya batu, maka wajib untuk pengajuan usulan galian batu (rock excavation), apabila telah di setuju maka dilanjutkan dengan join inspeksi. Untuk galian batu dengan peledakan harus dilakukan dengan hati-hati supaya tidak terjadi rongga yang berlebihan (over brake) dan kerusakan yang membahayakan struktur pondasi. Oleh karena itu sebelum diadakan peledakan harus dilakukan trial blasting (uji acoba peledakan). Galian tanah biasa dan tanah batuan biasanya dilakukan dengan menggunakan Back Hoe, Excavator, Bulldozer. Galian batuan (open cut) dilaksanakan dengan ledakan menggunakan metode low bench cut, dengan tinggi brem kurang dari 3 meter. Hasil material galian diangkat dengan Tractor Shovel kemudian di pindahkan ke Dump Truck untuk di bawa ke spoil bank atau stock pile.
5. Pada rencana As Saluran Pengelak akan di lakukan pekerjaan pondasi. Perbaikan pondasi dengan grouting tirai dan blanket.
6. Bersamaan dengan pekerjaan pondasi saluran dapat dilakukan pembesian dan pemasangan bekisting untuk saluran conduit. Dengan data spesifikasi besi berulir yang telah direncanakan .



7. Setelah pekerjaan pembesian dan pemasangan bekisting maka dilanjutkan pekerjaan pembetonan Sebelum penerapan di lapangan maka dilakukan uji mutu beton di laboratorium. Bila selesai pengujian maka dilaksanakan pembetonan di lapangan.
8. Apabila pembetonan lantai dan dinding sudah selesai, maka dilanjutkan pekerjaan pembetonan dinding atas, pembenahan saluran dihilir outlet, dan pemasangan bronjong.
9. Bila pembetonan telah cukup umur dan siap untuk digunakan, maka mulai dilaksanakan pengelakan sungai dengan cara membuat cofferdam sementara (temporary cofferdam).



## **BAB V**

### **PEMBANGUNAN COFFER DAM**

#### **5.1 Pekerjaan Timbunan (Cofferdam)**

Cofferdam berfungsi melindungi daerah/area pelaksanaan pekerjaan bendung dari pengaruh aliran air. Aliran air tersebut dapat berupa debit sungai atau limpasan dan lain-lain. Cofferdam biasanya direncanakan tidak mengalami over topping, tetapi dalam hal tertentu dapat juga direncanakan untuk sesekali mengalami over topping. Cofferdam untuk pelaksanaan Bendung ini direncanakan tipe timbunan batu yang sesekali mengalami over topping (cofferdam limpas) dengan tinggi limpasan tertentu.

Pemilihan cofferdam ini didukung oleh beberapa faktor dimana factor-faktor tersebut lebih menguntungkan untuk mendukung rencana pelaksanaan bendungnya. Oleh karena cofferdam boleh mengalami limpasan, maka dimensi stone covering dan lain-lain perlu dikontrol terhadap kecepatan limpasan dan kemungkinan adanya genangan yang akan memudahkan batu-batu tersebut bergeser dari tempat kedudukan semula. Cofferdam di rencanakan boleh sesekali mengalami over topping (melimpas) dan direncanakan  $Q_{dlimpas} > Q_d$ .

Jenis-Jenis Cofferdam :

a. Cofferdam dengan urugan timbunan batu

Alternatif ini sangat mungkin dilaksanakan mengingat material batu yang tersedia dilapangan cukup banyak, keuntungan lain adalah konstruksi tidak rumit dan relatif murah. Tetapi oleh karena cofferdam direncanakan sesekali boleh mengalami over topping (melimpas), maka perlu dikontrol diameter batu pada cofferdam yang diijinkan sehingga batu tersebut tidak akan larut/terlarut oleh limpasan.

b. Cofferdam dari beton

Alternatif konstruksi ini sangat mungkin tahan terhadap limpasan, tetapi ada beberapa pertimbangan yang harus dipertimbangkan antara lain :

- Konstruksi mahal
- Pembongkaran sulit
- Harus mendatangkan pasir dari luar daerah;
- Pelaksanaan relatif lama.

c. Gabungan tipe Coferdam

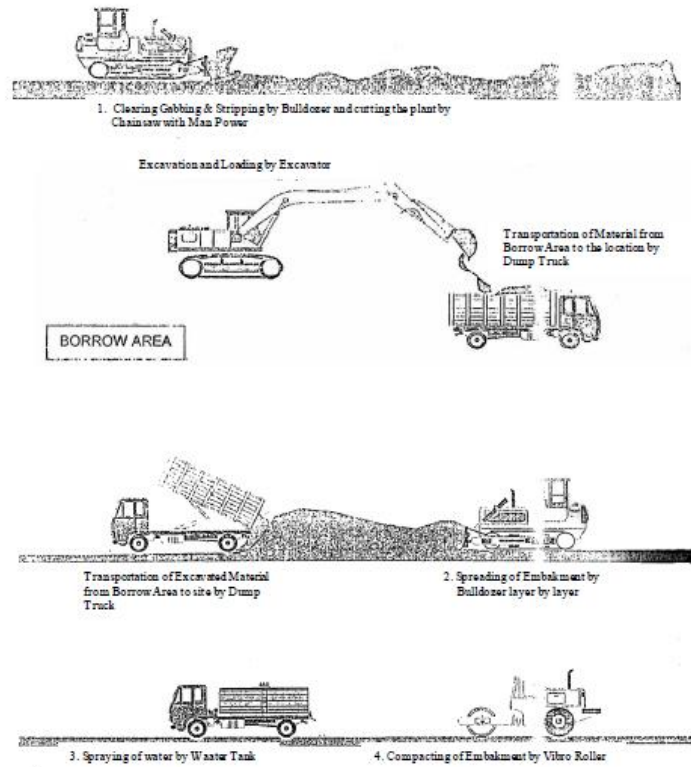
Type gabungan/modifikasi ini adalah cofferdam dengan urugan batu dan concrete serta jaring-jaring dari baja tulangan. Cofferdam type ini paling sesuai



untuk dilaksanakan bila cofferdam didesain boleh mengalami sesekali over topping (melimpas). Limpasan yang terjadi dapat melarutkan batuan terutama dibagian hilir dan puncak cofferdam sehingga bagian-bagiann tersebut perlu diperkuat dengan lapisan concrete dan jaring-jaring dari baja tulangan.

Metode Pelaksanaan Pekerjaan Timbunan (Cofferdam) sebagai berikut :

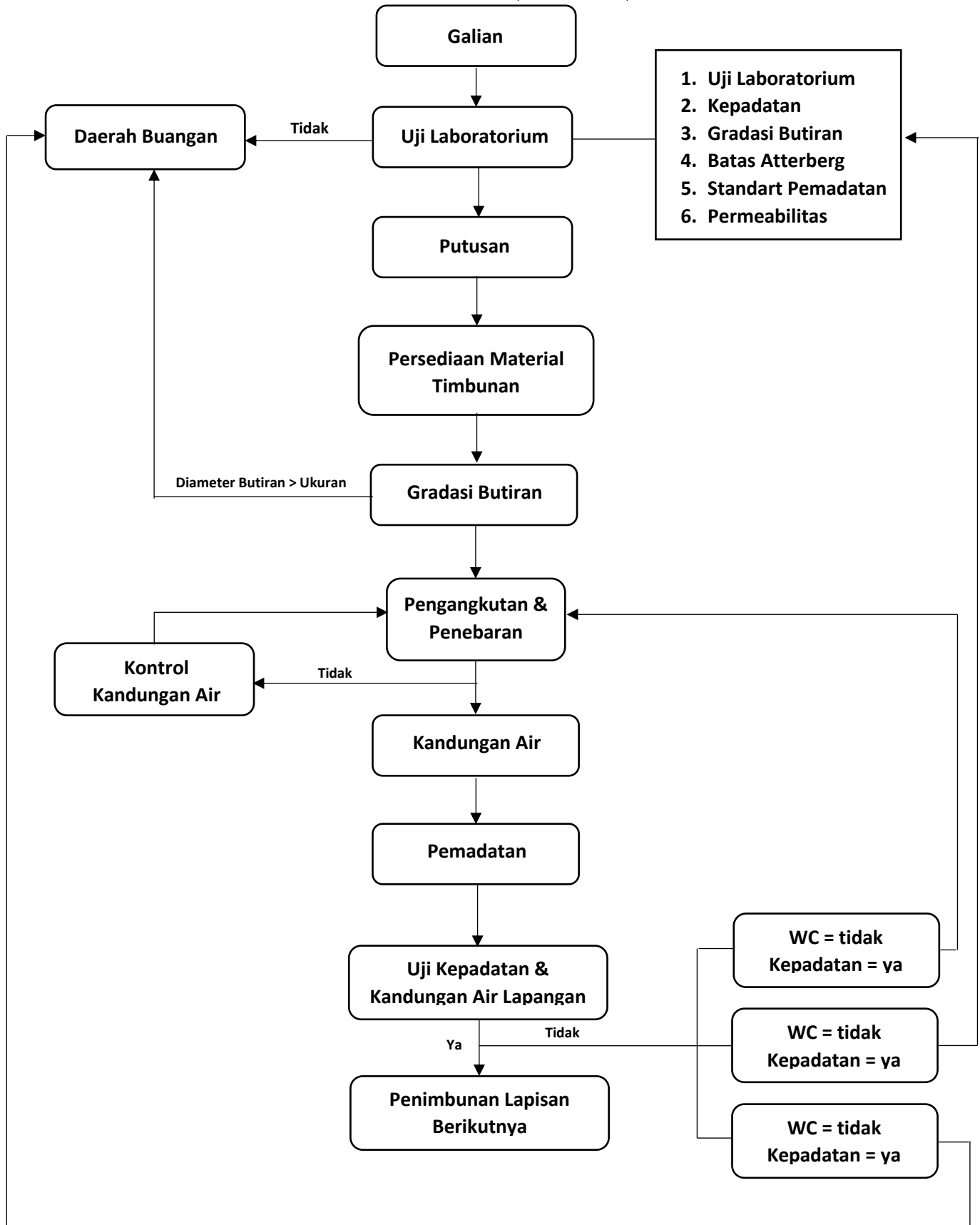
- Sebelum menimbun, permukaan pondasi harus dipadatkan dan dikasarkan dengan menggunakan bulldozer
- Setelah lapisan pondasi bersih dari kotoran khususnya pada lokasi inti, dilakukan penimbunan dengan tanah lempung setebal 10-15 cm untuk lapisan perekat (contact zone) termasuk pada bagian lereng bukit dan dipadatkan. Apabila tidak dilaksanakan dengan alat berat pemadatan dapat dilakukan dengan tamping rammer namun ketebalannya dikurangi dan harus dilakukan dengan hati-hati.
- Material timbunan dihampar dengan ketebalan + 20-30 cm lapis demi lapis dengan menggunakan dozer
- Material tanah lempung harus dibasahi dengan menggunakan tangki air apabila moisture content (kurang) dan dijemur dulu apabila moisture content terlalu tinggi, untuk mencapai moisture content yang optimum.
- Lapisan timbunan harus dipadatkan dengan vibro roller atau sheep foot roller untuk mencapai kepadatan yang direncanakan
- Jumlah lintasan compactor diputuskan sebelumnya pada pelaksanaan trial embankment
- Setelah top elevasi dari timbunan tercapai, finishing slope timbunan atau trimming dilakukan dengan excavator.



Gambar 05.1 Ilustrasi Pekerjaan Timbunan (Cofferdam)



## 5.2 Flow Chart Kontrol Kualitas Timbunan (Cofferdam)





### 5.3 Metode Pelaksanaan Pembangunan Cofferdam

Pekerjaan ini merupakan pekerjaan random urugan batu hasil dari galian batu saluran pengelak dan quarry. Cofferdam ini dibangun di sebelah hulu dan hilir dari bendungan dengan cara menimbun material yang telah di tentukan. Pekerjaan timbunan cofferdam di kerjakan mulai dari hulu dan diakhiri pada pekerjaan timbunan bagian hilir. Pekerjaan ini dilaksanakan dengan metode sebagai berikut :

1. Mempersiapkan pondasi dari urugan batu sesuai dengan spasifikasi teknis.
2. Pengambilan material dari stock pile dengan menggunakan dump truck.
3. Apabila material telah siap maka hamparkan material dengan merata dengan bulldozer. Penghamparan material dilakukan perlayer dengan susunan lapisan pertama batu berdiameter besar kemudian lapisan kedua batu berdiameter kecil. Perletakan tersebut bertujuan untuk mengunci tiap lapisan batu yang telah dihamparkan. Demikian berturut-turut hingga mencapai puncak cofferdam.
4. Pemadatan dengan vibro roller dilaksanakan dengan cara perlayer sesuai dengan design atau spek teknis yang ada.
5. Pada saat penggilasan perlayer dalakukan juga uji kepadatan dengan menggunakan sandcone test untuk mengetahui nilai kepadatan jika memenuhi persyaratan maka dilanjutkan dengan layer berikutnya jika tidak maka dilakukan penambahan penggilasan sebanyak 2 kali dengan menggunakan vibro roller.
6. Pembangunan cofferdam dimulai dari hulu jika selesai dilanjutkan dengan pembangunan di bagian hillir.

#### 5.3.1 Pekerjaan Persiapan

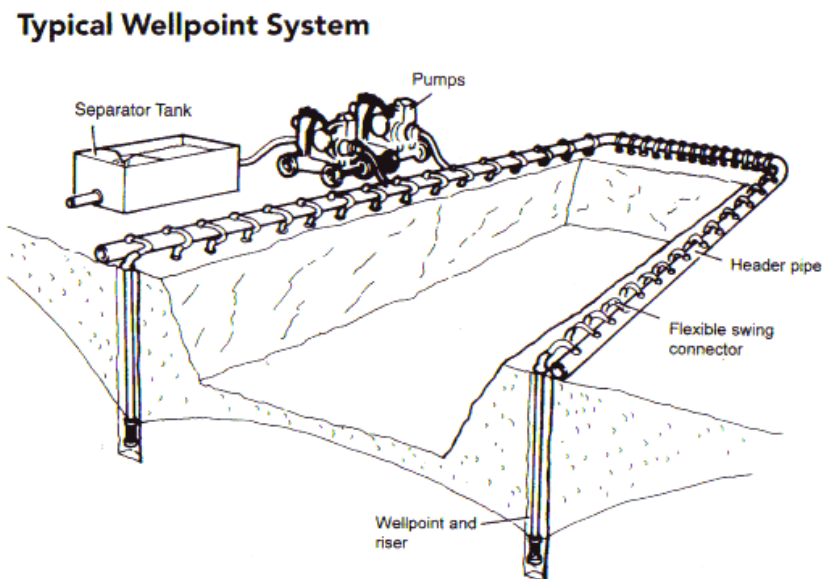
Pekerjaan persiapan untuk timbunan cofferdam adalah menyiapkan segala sesuatu yang berhubungan dengan lancarnya pekerjaan dimana pada pekerjaan tersebut membutuhkan berbagai alat berat dan material pilihan yang telah direncanakan. Pada pekerjaan persiapan untuk cofferdam dibutuhkan alat berat sebagai berikut :

1. Bulldozer
2. Sheep Foot Roller
3. Braker
4. Excavator
5. Dump Truk



### 5.3.2 Dewatering dan Coffering

Pekerjaan Dewatering merupakan pekerjaan awal sebelum dilaksanakan penimbunan pada area pekerjaan cofferdam. Dewatering dilakukan untuk pengeringan pada area antara cofferdam hulu dan hilir yang terdapat genangan air yang dapat mengganggu kelangsungan pekerjaan cofferdam. Pada pekerjaan tersebut membutuhkan alat berupa pompa generator sebagai penghisap genangan air dan dibantu dengan susunan pipa sebagai alat bantu menyalurkan air. Berikut penggambaran pekerjaan dewatering yang dijelaskan pada gambar 5.2



Gambar 05.2 Pekerjaan Dewatering

Sumber : Pump Hire, 2003

Prosedur pekerjaan dewatering pada area pekerjaan cofferdam :

1. Pekerjaan cofferdam dilaksanakan apabila terjadi genangan pada area pekerjaan cofferdam.
2. Pelaksanaan pengeboran guna pembuatan titik (well point) untuk mengetahui berapa volume air yang akan di ambil. Ditentukan jarak antar well poin berkisar 4 m.
3. Dibutuhkan alat berupa generator dan pipa ukuran 4'' untuk pengambilan genangan air.
4. Genangan air akan buang ke daerah yang tidak ada pekerjaan atau dapat di buang ke sungai terdekat dengan menggunakan water tank.





### 5.3.3 Metode Pekerjaan Tanah

Pekerjaan ini dibagi menjadi galian tanah, galian batu keras, timbunan batu, dan timbunan batu rip-rap. Berikut penjelasan pekerjaan tanah:

#### 1. Galian Tanah

Pekerjaan galian tanah dilakukan pada hulu dan hilir bendungan yang akan dilakukan pekerjaan penimbunan cofferdam. Pekerjaan galian tanah membutuhkan tenaga alat berat yaitu backhoe untuk menggali, bulldozer untuk menghampar pada stockpile/spoilbank, dan dump truck untuk mengangkut. Pada pelaksanaan pekerjaan tanah dilakukan dengan metode pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Melakukan pengukuran lapangan kondisi awal sebelum penggalian/MC0 untuk mendapat elevasi tanah awal sebelum galian dan menentukan kedalaman galian yang dibutuhkan untuk mencapai elevasi yang diinginkan seperti pada gambar.
- b. Melakukan penggalian menggunakan 2 unit excavator yang dapat berkerja berdampingan.
- c. Material hasil galian akan diangkut menggunakan truck dengan posisi dumptruck membelakangi excavator.
- d. Pengangkutan material bersifat kontinu dengan maksud pada saat dumptruck pertama mengisi material dan mengangkut ke area stockpile/spoilbank maka dumptruck kedua langsung melakukan pengisian material hasil galian.

#### 2. Galian Batu Keras

Pekerjaan galian batuan membutuhkan alat berupa braker sebagai penghancur batuan, back hoe sebagai penggali, dan dump truk untuk mengangkut hasil galian batuan. Pada pekerjaan galian batuan dilakukan metode pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Pekerjaan galian batuan dikerjakan beriringan dengan galian tanah.
- b. Pekerjaan galian batuan dilaksanakan menggunakan 1 unit braker, pekerjaan tersebut dilaksanakan bila menemukan batuan keras yang sulit dipecahkan.
- c. Peangkutan material bersifat kontinyu yang sama dengan pekerjaan galian tanah.
- d. Hasil galian ini diletakan ke stock pile yang nantinya akan digunakan kembali untuk timbunan.

#### 3. Timbunan Batu



Pekerjaan timbunan batuan dibutuhkan alat berat berupa bulldozer untuk meratakan, dan vibro roller untuk memadatkan. Pada pekerjaan timbunan batuan dilakukan metode pelaksanaan sebagai berikut :

- a. Pekerjaan timbunan dilakukan dengan cara penghamparan material berdiameter besar kemudian ditimbun kembali dengan material berdiameter kecil. Timbunan berdiameter kecil bertujuan untuk menutupi rongga-rongga yang kosong.
  - b. Material timbunan diambil dari stockpile dan juga dapat diambil dari quarry.
  - c. Pekerjaan timbunan membutuhkan alat berat berupa 2 unit backhoe dan 1 unit vibro roller.
  - d. Timbunan dilaksanakan secara bertahap yang kemudian dilaksanakan pemadatan menggunakan vibro roller.
  - e. Pada ketinggian tiap 50 cm dilakukan pemadatan menggunakan vibro roller.
  - f. Pemadatan dilakukan dengan cara menyemprotkan air terhadap material kemudian dipadatkan oleh vibro roller kemudian dilakukan 6x lintasan untuk pemadatan.
  - g. Pengecekan pemadatan menggunakan tes sandcone dimana hasil dari ters tersebut menunjukkan perbandingan  $\gamma_{dry}$  dan kebutuhan air (w).
  - h. Setelah dilakukan tes sandcone akan dilaksanakan tes uji proktor pada laboratorium untuk mengetahui derajat kepadatan. Apabila pemadatan kurang maksimal akan ditambah jumlah lintasan.
  - i. Pekerjaan tersebut dilaksanakan sampai dengan tinggi elevasi rencana timbunan cofferdam.
4. Timbunan Batu Rip-rap

Timbunan batu rip-rap merupakan pekerjaan finshing pada timbunan cofferdam. Material dari timbunan tersebut dapat diambil di quarry atau lokasi lain yang bergradasi baik. Pekerjaan timbunan rip-rap dilakukan apabila lapisan bawah telah padat dan terikat. Timbunan rip-rap dilakukan dengan metode pelaksanaan sebagai berikut:

- a. Pekerjaan timbunan dilakukan apabila pemadatan telah selesai dan telah terikatnya antar material pada lapisan bawah cofferdam.
- b. Material yang dipilih adalah material yang bergradasi baik dengan ukuran partikel lebih dari 50 cm dan tidak lebih dari 100 cm.



- c. Material diambil menggunakan dump truk yang kemudian dilanjutkan penghamparan batuan dengan menggunakan backhoe.
- d. Timbunan rip-rap ini akan menjadi kaki bendungan utama beserta cofferdam



## BAB VI

### PELIMPAH, SALURAN TRANSISI, SALURAN PELUNCUR, KOLAM OLAK

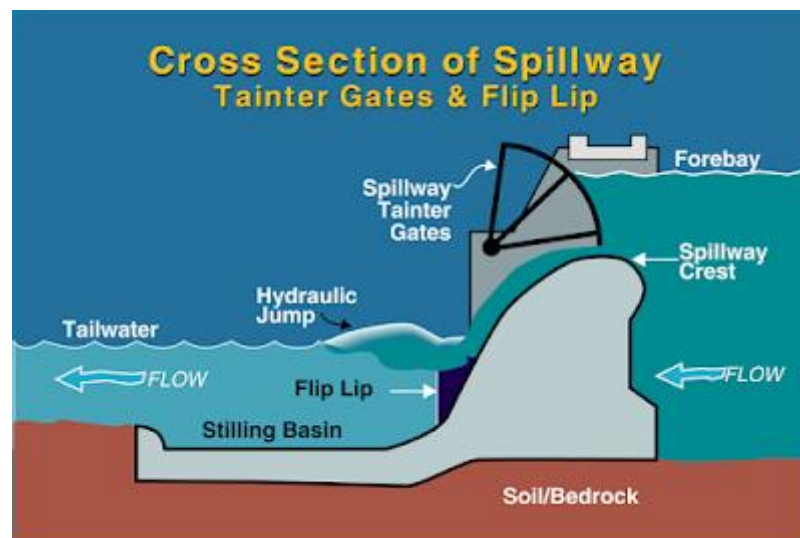
#### 6.1 Pekerjaan Spillway

Spillway adalah salah satu struktur bendungan yang sebenarnya adalah sebuah metode untuk mengendalikan pelepasan air untuk mengalir dari bendungan ke daerah hilir atau bisa disebut bangunan pelimpah. Fungsi spillway sendiri yaitu untuk mencegah banjir sehingga ketinggian air tidak melebihi batas yang ditetapkan, dimana hal ini sering terjadi saat banjir / hujan deras. Sedangkan pada saat normal digunakan pintu air dam untuk mengeluarkan air secara teratur untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik, suplai air, dan sebagainya.

Ada dua jenis spillway yang sering digunakan yaitu

##### a. Spillway Terkendali

Spillway terkendali memiliki struktur mekanik atau gerbang untuk mengatur laju aliran air. Desain ini dimungkinkan untuk mengatur ketinggian air pada bendungan yang akan digunakan untuk penyimpanan air sepanjang tahun, dan apabila banjir terjadi dapat dikeluarkan dengan membuka satu/lebih spillway



Gambar 6.1 Cross Section Spillway

##### b. Uncontrolled Spillway

Spillway tidak terkendali yaitu spillway yang tidak memiliki pintu air, ketika air naik di atas bibir atau puncak katup maka air itulah yang akan dikeluarkan dari reservoir. Laju debit dikendalikan hanya dengan kedalaman air dalam reservoir yang mana apabila lebih tinggi ketinggian air maka debit yang dialirkan semakin besar. Semua volume penyimpanan dalam reservoir di atas puncak spillway hanya dapat digunakan



untuk penyimpanan sementara air banjir, dan tidak dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan air bersih.

## 6.2 Bentuk bentuk spillway

Ada beberapa macam bentuk spillway diantaranya adalah :

### a. Siphon Spillway ( Pelimpah Siphon )

Siphon spillway merupakan salah satu bangunan pelimpah yang berbentuk terowongan tertutup dengan bentuk U terbalik. Siphon ini dapat berupa saluran tertutup atau saluran terbuka. Dimana saluran tertutup terjadi apabila air yang melewati siphon ini penuh dan saluran terbuka terjadi apabila air yang melewati siphon ini tidak penuh.

### b. Chute Spillway

Chute spillway didesain secara umum untuk mentransfer arus air dari bendungan ke sungai di bawahnya. Spillway ini bertujuan untuk melindungi bendungan dari kerusakan jika debit air terlalu banyak dan melindungi topografi yang ada. Spillway ini juga memiliki alat pengendali, namun tidak memiliki komponen peredam energi seperti stepped spillways. Spillway ini tertanam dengan baffle blok beton namun biasanya memiliki bibir flip dan atau cekungan dissipasi yang menciptakan hydraulic jump yang bertujuan untuk melindungi ujung bendungan dari erosi

### c. Stepped Spillway

Stepped spillway merupakan spillway dimana memiliki komponen peredam energi seperti pada bending. Hal tersebut bertujuan untuk menghasilkan dissipasi energi yang cukup selama meluncur dan mengurangi energi yang terjadi pada hilir.

### d. Bell Mouth Spillway ( Shaft Spillway/Morning Glory )

Spillway ini memiliki bentuk seperti lonceng terbalik dengan terowongan tegak hingga ke bawah bending. Lonceng ini dibentuk sehingga air dapat masuk semua di sekeliling.

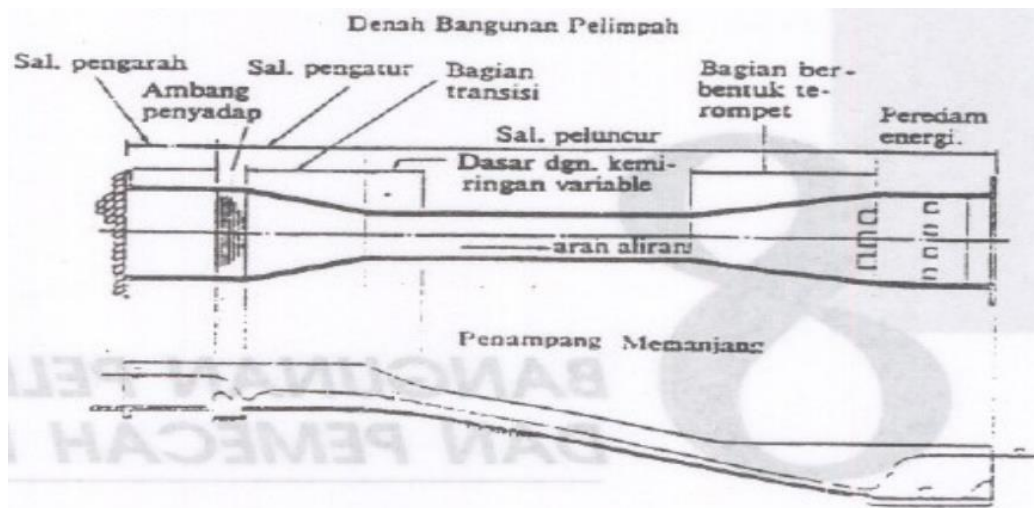
### e. Side Channel Spillway

Spillway ini digunakan terutama pada bendungan tanggul. Spillway ini terletak hanya di bagian hulu dan di sisi bendungan. Air melewati saluran samping lalu mengalir turun meluncu dan bergabung dengan sungai hilir bendungan.

Adapun pada perencanaan Bendungan Way Apu tipe spillway yang digunakan yaitu Uncontrolled Spillway dengan bentuk Side Channel Spillway.



### 6.3 Saluran Transisi dan Saluran Peluncur

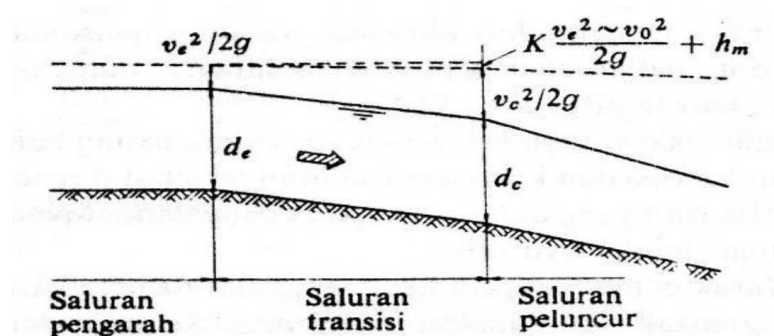


Gambar 6.2 Skema Saluran Pengarah hingga Saluran Peredam Energi

Sumber: Pradana, dkk. 2014

Saluran transisi pada umumnya direncanakan agar debit banjir rancangan yang disalurkan tidak menimbulkan kecepatan yang tidak rata dan membuat air terhenti sehingga menghasilkan aliran balik (backwater) di bagian hilir sesudah saluran pelimpah, sehingga saluran transisi dapat memberikan kondisi yang menguntungkan. Baik pada saluran transisi dan aliran permukaan yang akan menuju saluran peluncur. Bangunan pelimpah ini biasanya relatif kecil dan dibuat dengan dinding tegak yang semakin menuju ke saluran peluncur, maka lebarnya akan relatif kecil. Dengan inklinasi sebesar  $12^{\circ}30'$  terhadap sumbu saluran peluncur.

Sementara saluran peluncur ialah saluran pembawa dari ujung hilir saluran transisi/ambang pelimpah hingga ke kolam peredam energi/kolam olak. Pada umumnya saluran ini direncanakan dengan aliran superkritis ( $Fr > 1$ )



Gambar 6.3 Skema Aliran apabila terjadi Aliran Kritis di Ujung Transisi

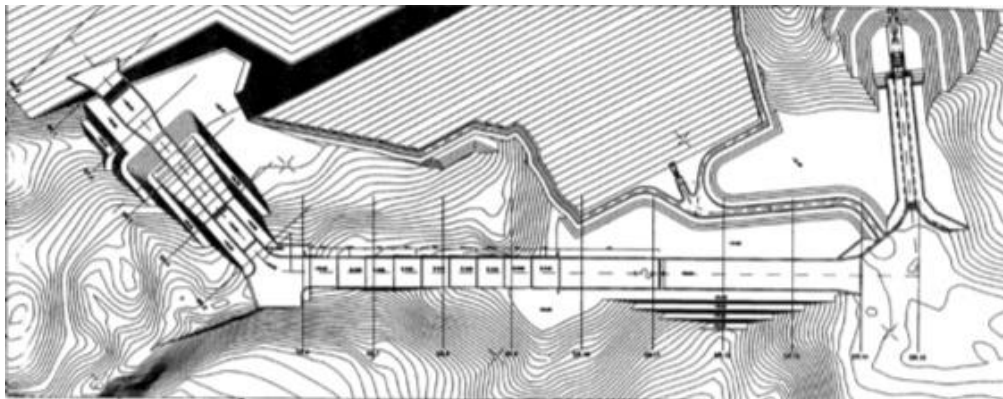
Sumber: Sosrodarsono, 1989



#### 6.4 Kolam Peredam Energi

Setelah aliran mengalir dari saluran peluncur, aliran air harus diredam energinya dengan diperlambat dan dirubah dari aliran superkritis ( $Fr > 1$ ) menjadi aliran sub-kritis ( $Fr < 1$ ). Hal ini bertujuan agar air yang mengalir tidak menggores dasar sungai dan tebing yang terbuat dari tanah asli. Kolam peredam energi memiliki berbagai macam tipe mulai dari USBR Tipe I – IV hingga tipe vluhter yang memiliki kriteria dan spesifikasi yang berbeda beda bergantung pada perencanaan yang ada

#### 6.5 Metode Pelaksanaan



Gambar 6.4 Ilustrasi Denah Pekerjaan Spillway

Untuk melaksanakan pekerjaan pembangunan spillway dibutuhkan alat alat seperti Excavator, Dump Truck, Truck Mixer (Molen), Concrete Pump, Vibrator Concrete, Compressor, dan sebagainya.

Pekerjaan pembangunan spillway, saluran transisi, saluran peluncur, dan kolam olak dibagi sebagai berikut :

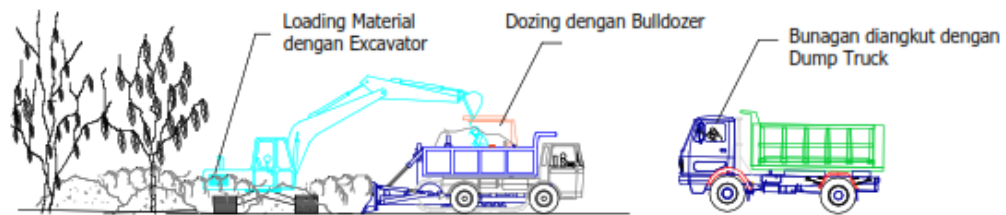
##### a. Pekerjaan Tanah

Yang dimaksud pekerjaan tanah pada spillway adalah sebagai berikut :

##### - Galian Tanah

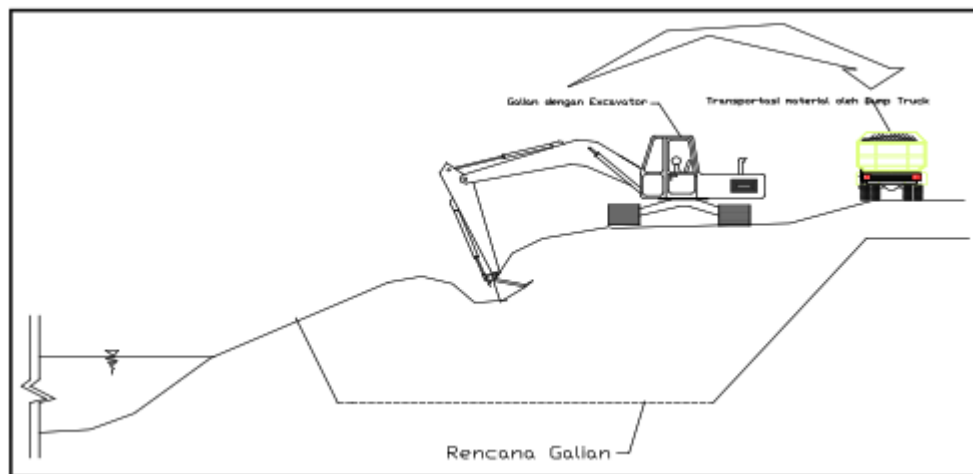
Sebelum melakukan pekerjaan pembangunan, terlebih dahulu daerah kerja dibersihkan dari pepohonan, semak belukar, sisa bangunan, sampah, akar pohon, dan semua material dibuang sesuai dengan tempat yang disepakati. Peralatan yang digunakan adalah bulldozer, chainsaw, dump truck, dan peralatan bantu lainnya. Dan jika memungkinkan adanya pembakaran harus diusahakan sedemikian rupa dengan risiko seminimal mungkin dengan lingkungan.





Gambar 6.5 Ilustrasi Galian Tanah

Setelah dilakukan pembersihan ( land clearing ) dan pematokan batas galian, dilakukan penggalian dengan excavator. Tanah hasil galian tersebut akan dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu tanah yang memenuhi persyaratan sebagai timbunan dan tanah yang tidak memenuhi syarat sebagai material timbunan



Gambar 6.6 Ilustrasi Land Clearing

Timbunan Tanah selektif dari hasil galian dipadatkan

Setiap tanah urugan akan dibersihkan terlebih dahulu dari akar tumbuhan dan kotoran lainnya. Tanah urugan berasal dari jenis tanah ladang/tanah berpasir dan berupa bongkaran bongkaran tanah.

- Setelah pekerjaan struktur selesai maka timbunan Kembali ( backfilling ) dari hasil galian sesuai dengan batas timbunan
- Pemadatan akan dilaksanakan dengan vibro roller atau stamper
- Pelaksanaan dilakukan secara bertahap lapis demi lapis

b. Pekerjaan Beton

Pekerjaan beton terdiri dari pekerjaan beton galeri dan spillway, dan pekerjaan ini dilakukan setelah selesainya penggalian pondasi atau setelah Sebagian selesai





penggalan pondasi. Sebelum memulai pekerjaan beton, terlebih dahulu dibuat akses jalan untuk beton spillway, bagian chuteway memiliki kemiringan lembut 1:4 apabila dari tanah yang nantinya akan digunakan untuk akses sementara pembangunan chuteway dari sisi hulu. Sedangkan untuk chuteway konstruksi mempunyai porsi landau 1:2. Dan lantai beton spillway akan dilaksanakan setelah dinding selesai dilaksanakan

a. Bekisting

Bekisting yang digunakan umumnya terbuat dari kayu, pada prinsipnya rencana bekisting kayu akan digunakan untuk permukaan beton yang tertutup atau terlindungi seperti pondasi lantai, dan dinding bagian luar.

Bekisting juga dapat berbentuk melengkung terutama pada struktur yang memiliki kemiringan radius seperti puncak overflow, untuk overflow pada bendungan jati barang dilakukan dengan metode tambahan guna memperhalus permukaan beton, dimana pekerjaannya adalah sebagai berikut :

- Sampai dengan ketinggian tertentu dari puncak overflow lengkung digunakan plywood
- Dan selama pengecoran bagian yang lengkung harus dipukul/mengetuk dengan menggunakan palu

Pembuatan bekisting sendiri baik bekisting kayu dan bekisting lengkung dibuat di Gudang atau di dekat area pengecoran. Dimana jadwal fabrikasi bekisting mengikuti jadwal pekerjaan pengecoran

b. Pembesian

Pekerjaan pembesian harus difabrikasi jauh sebelum pekerjaan beton dimulai. Pengadaan material besi beton harus berasal dari pabrikan yang telah disetujui oleh Engineer

- Pemotongan dan Instalasi besi dilakukan di Gudang, dan untuk pemotongan dilakukan sesuai dengan gambar kerja. Untuk pemotongan digunakan Bar Bender dan pembentukan digunakan Bar cutter
- Transportasi dibutuhkan setelah pemotongan & bending di Gudang. Untuk transportasi digunakan truck/alat transportasi se efisien mungkin
- Instalasi besi dilakukan sesuai dengan gambar kerja yang telah disetujui oleh Engineer Proyek tersebut. Penempatan besi tersebut akan dilindungi dengan terpal dari panas dan hujan, serta diberi alas

c. Pemasangan Waterstop



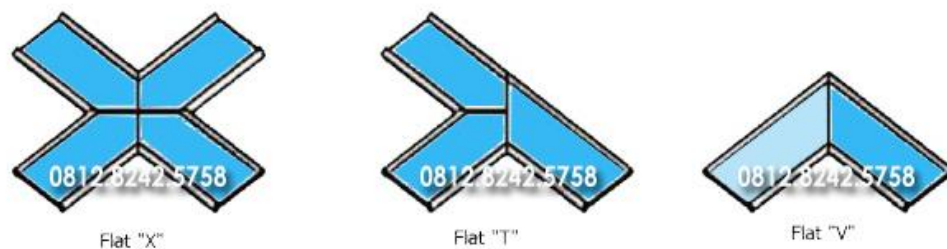
Waterstop adalah material pengisi celah pada rongga sambungan beton. Pemasangan waterstop dilaksanakan pada setiap joint. Waterstop sendiri dibagi menjadi 2 tipe yaitu Waterstop Expansion joint dan Waterstop Construction Joint seperti gambar di bawah



Gambar 6.7 Waterstop

Waterstop merupakan hal yang sangat wajib ada pada pemasangan lantai pada bendungan, dimana fungsinya ialah untuk mencegah rembesan air dalam tanah ke arah plat lantai melewati joint/sambungan pada plat lantai.

Untuk sambungan waterstop sendiri, bendungan seringkali menggunakan sambungan Flat, baik Flat T, Flat Cross, dan Flat Edge



Gambar 6.8 Tipe Sambungan Waterstop

d. Pengecoran

Secara umum, untuk pengecoran spillway terdapat 2 metode yaitu

- Chute Methode

Chute methode / talang harus didesain sedemikian rupa agar tidak terjadi segregasi pada unsur pokok beton. Selain itu, lapisan chutes harus halus dan sisi sisinya cukup tinggi untuk mencegah beton meluber. Jatuhan vertical ada di bagian ujung

- Pump Methode



Pump methode menggunakan concrete pumps yang mungkin digunakan untuk mengangkut dan menuangkan beton dalam kondisi dimana beton direncanakan dengan slump 100 mm atau lebih dan harus disetujui oleh direksi. Namun untuk penggunaan pompa bertekanan ( dilengkapi dengan tekanan udara untuk memindahkan beton ) tidak diperbolehkan. Penambahan air untuk campuran beton selama pemompaan sesudah keluar dari pencampuran tidak diijinkan

e. Curing

Curing adalah metode untuk perawatan beton agar didapat kualitas beton dengan hasil maksimal. Secara umum, curing dilakukan dengan percikan air. Namun dapat juga dilakukan dengan menutup beton dengan karung/terpal lain. Curing tahap pertama dilakukan segera setelah selesai dan sampai beton telah mengeras cukup ( +- 5 jam ) dengan percikan air. Dan tahap kedua dilakukan setelah beton mengeras hingga 10 hari dengan percikan air dan terpal/karung goni.

f. Finishing

Finishing dilakukan dengan mengecek apakah beton sudah dalam kondisi rata dan memiliki permukaan yang tidak porus. Selain itu, strength test perlu dilakukan dengan bertujuan untuk mengetahui apakah mutu beton sudah sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan.

c. Mercu

Pekerjaan bangunan mercu pada spillway juga harus mementingkan dewatering, dikarenakan tingkat kerembesan airnya cukup tinggi. Sebelum memulai pekerjaan pengecoran mercu harus mempersiapkan pompa dalam keadaan sehat. Untuk beton dapat juga digunakan beton cyclop ( beton dengan campuran 60% batu mangga yang diaduk dengan kerikil dan pasir ). Beton cyclop ini dilakukan karena batu kali besar/batu kelapa sulit didapat.



## **BAB VII**

### **TUBUH BENDUNGAN**

#### **7.1 Pekerjaan Bangunan Main Dam**

Bendungan adalah konstruksi yang berfungsi untuk menampung air atau menahan laju air dan direncanakan dengan umur rencana tertentu. Selain itu, bendungan juga dapat dimanfaatkan menjadi waduk, danau, tempat rekreasi, hingga pembangkit tenaga listrik. Secara umum bendungan dibangun berupa timbunan/urugan (embankment dam), yaitu material timbunan yang mudah didapat di sekitar lokasi pembangunan bendungan sehingga dapat mengefisiensikan biaya. Menurut SNI 8062:2015 tentang Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan, secara teknis desain bendungan harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut :

1. Earth Dams ( Bendungan urugan tanah )

Bendungan urugan tanah terbuat dari timbunan tanah dengan persyaratan yang harus terpenuhi. Timbunan ini dapat diambil dari sekitar lokasi bendungan sehingga dapat memudahkan pelaksanaan. Jika tanah belum sesuai dengan persyaratan maka akan dilakukan pemadatan per lapisan hingga memenuhi kepadatan yang diizinkan ( biasanya 92% - 97% )

2. Rock Fill Dams ( Bendungan Isi Batu )

Bendungan ini merupakan bendungan yang tersusun dari bongkahan bongkahan batu yang saling mengunci dengan inti yang kedap air. Inti dari bendungan ini dapat berupa tanah kedap air yang memiliki koefisien rembesan kecil. Ada 3 bagian utama dari bendungan ini yaitu :

- Urugan Batu Utama

Urugan batu utama memiliki fungsi untuk menahan badan dam dari gerusan air dan juga menjaga stabilitas dari tekanan air bendungan yang menggenang

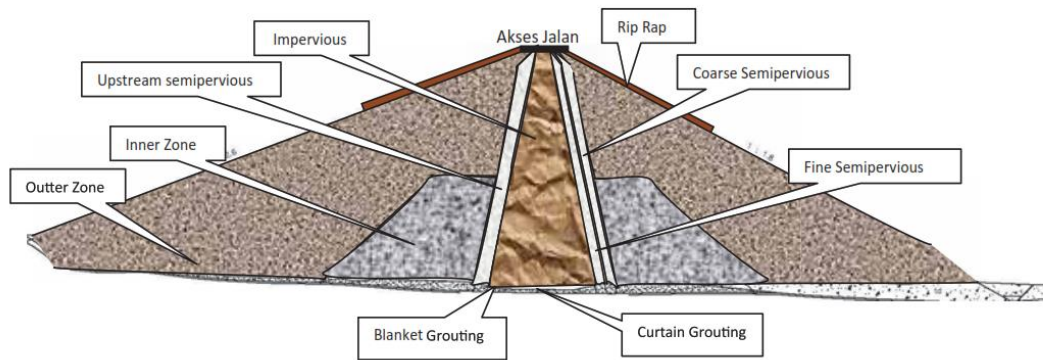
- Inti kedap air

Inti kedap air berfungsi untuk menahan laju rembesan yang terjadi. Material isian ini biasa terdiri dari jenis tanah clay/clayey silt/sily clay yang memiliki koefisien rembesan kecil

- Bagian pendukung Lain ( Instrumentasi Bendungan )

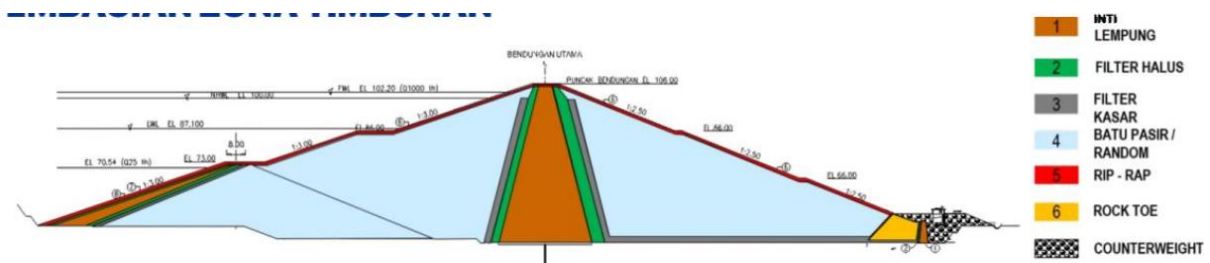
Bagian pendukung lain merupakan tambahan yang apabila dihilangkan tidak akan mempengaruhi fungsi utama dari bendungan

Secara umum, bagian bagian bendungan dapat dilihat pada gambar berikut :



Sketsa Potongan Memanjang Zona Dam Jatibarang

Gambar 7.1 Sketsa Potongan Memanjang Zona Dam Jatibarang



Gambar 7.2 Sketsa Potongan Memanjang Bendungan Kuwi Kawangkoan

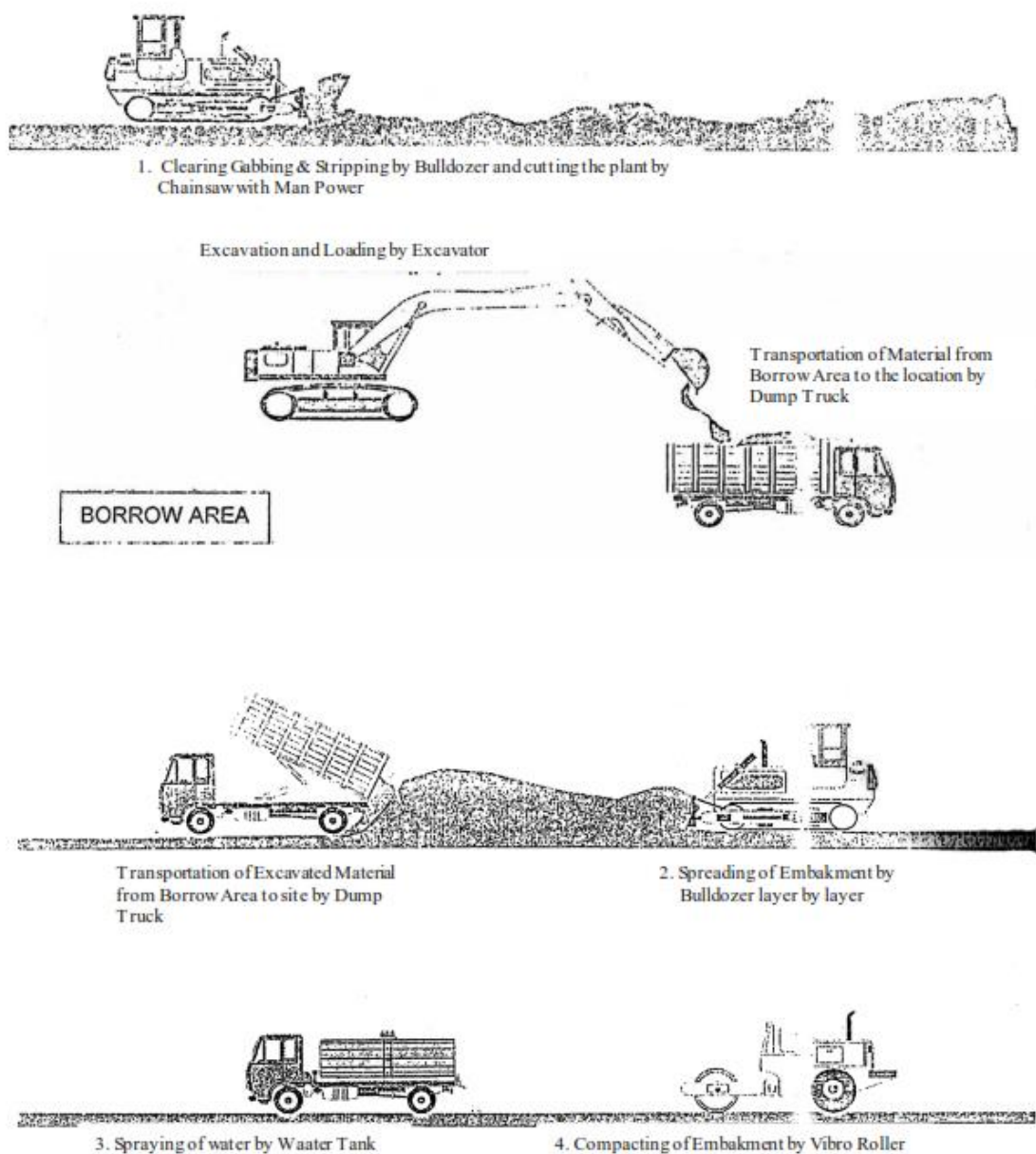
## 7.2 Pekerjaan Timbunan pada Bendungan

Seperti terlihat pada gambar di atas, bahwa tubuh bendung terdiri dari timbunan berbagai macam tipe timbunan. Metode pelaksanaan timbunan untuk bendungan antara lain sebagai berikut :

- Sebelum menimbun, permukaan pondasi tubuh bendungan harus dipadatkan dan dibuat kasar oleh bulldozer
- Setelah lapisan pondasi bersih dari kotoran terutama pada lokasi inti, dilakukan penimbunan tanah dengan clay (lempung) setebal 10 – 15 cm untuk lapisan perekat (contact zone) termasuk pada bagian lereng bukit dan dipadatkan. Apabila tidak dilaksanakan dengan alat berat pemadatan dapat dilakukan dengan tamper namun ketebalannya dapat dikurangi
- Material timbunan dihampar dengan ketebalan 20 – 30 cm lapis demi lapis dengan menggunakan bulldozer



- d. Material tanah lempung harus dibasahi dengan menggunakan air apabila kejenuhan kurang dan dijemur dahulu apabila kejenuhannya terlalu tinggi sehingga didapatkan tingkat kejenuhan yang optimum sesuai dengan desain
- e. Lapisan timbunan harus dipadatkan dengan vibro roller atau sheep foot roller untuk mencapai kepadatan yang direncanakan
- f. Jumlah lintasan compactor diputusan sebelumnya pada trial embankment untuk efisiensi alat
- g. Setelah top elevasi dari timbunan tercapai, finisihing slope timbunan / trimming dilakukan dengan excavator



Gambar 7.3 Pekerjaan Timbunan pada Bendungan



### 7.3 Analisa Material

#### a. Analisa Tanah

Sebelum mengambil tanah yang akan digunakan untuk membangun tubuh bendungan, terlebih dahulu dilakukan penyelidikan geologi dan pengujian laboratorium dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) atau ASTM. Penyelidikan geologi teknik terdiri dari :

- Investigasi Lapangan untuk material Konstruksi  
Investigasi Lapangan bertujuan untuk mengetahui formasi atau susunan tanah yang terdapat pada lokasi pembangunan
- Pekerjaan Pemboran dengan total panjang 500m

Pemboran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi di daerah sumbu as/bendung. Untuk bendungan Way Apu digunakan mesin bor tipe “rotary drilling machine” TONE UD-5, dengan diameter 56 mm. Untuk tanah atau batuan yang sudah mengalami pelapukan digunakan “single core barrel” dengan mata bor “single metal core bit”, sedangkan untuk batuan yang keras menggunakan “double core barrel” dengan mata bor “diamond core bit”. Semua mesin bor dilengkapi dengan “boring pump” untuk mensuplai air dan juga untuk pelaksanaan pengujian permeabilitas di dalam lubang bor. Apabila dalam pelaksanaan pemboran lubang bor yang mudah mengalami runtuh, maka akan dipasang pipa pelindung (casing pipe) sampai pada daerah yang stabil.

- Pengujian Tanah dengan metode Packer/Lugeon dan SPT  
Pengujian permeabilitas dilaksanakan dengan interval kedalaman 5 m pada lubang bor dengan “water pressure test” atau memakai air bertekanan. “Rubber packer” dipasang pada kedalaman yang akan diuji, kemudian air bertekanan dipompa kedalam lubang bor, dimana tekanan air sudah ditentukan. Pada setiap tekanan dilaksanakan pengamatan debit selama 10 menit, dan setiap menit dicatat debitnya. Apabila dengan memakai water pressure tidak dapat dilaksanakan, maka akan dilakukan cara uji permeabilitas constant head test, yaitu dengan memasukkan casing kedalam lubang bor hingga pada bagian atas yang akan di tes, dan kemudian air dikocor kedalam lubang bor dan diusahakan permukaan air konstan, kemudian dihitung debitnya permenit selama 10 menit.
- Pengujian Laboratorium (Indeks Test, Mechanical Properties, Rock Mechanical Test)



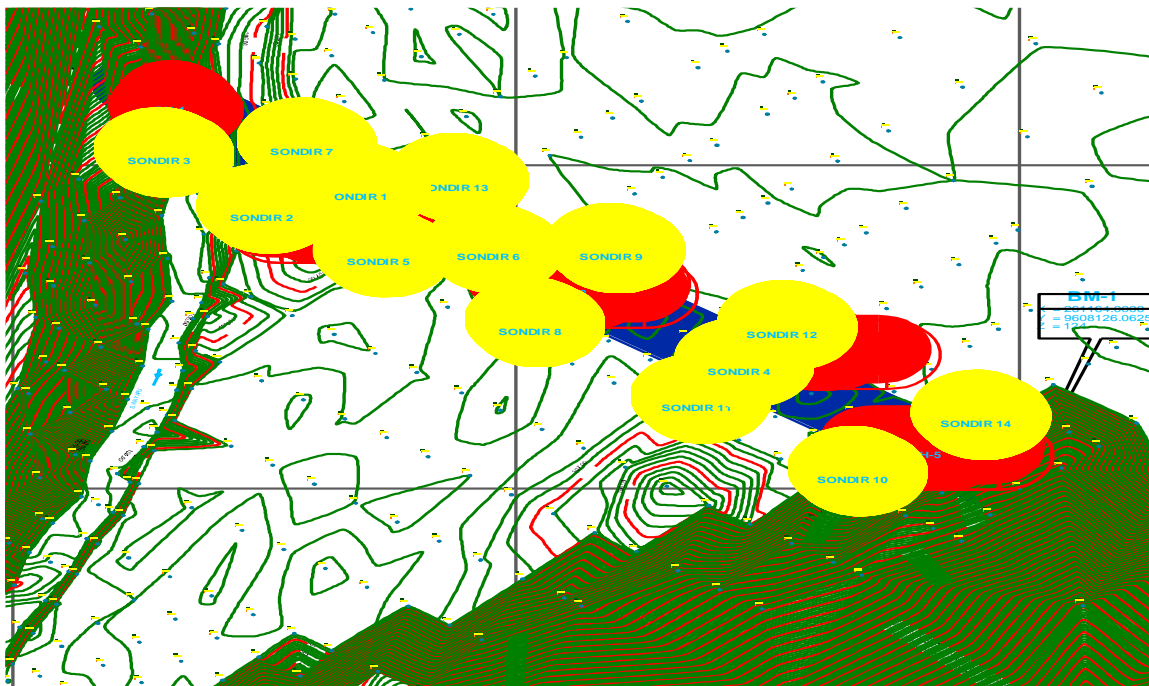


Pengujian laboratorium ini meliputi pengujian borrow area dan menguji kualitas air. Untuk parameter borrow area yang diambil adalah data tanah pada umumnya.

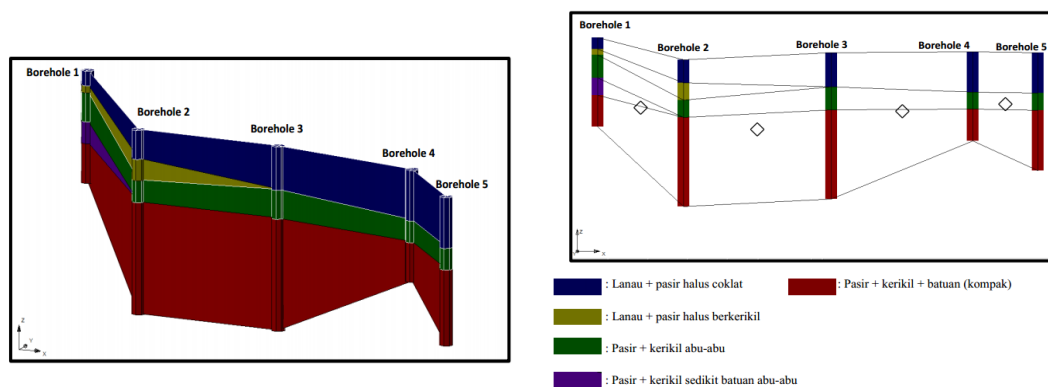
Pada penyelidikan Geologi dan Tes Laboratorium Bendungan Way Apu dilakukan sesuai dengan beberapa standar test yang ada, hal ini digunakan untuk menentukan parameter tanah dan komposisi tanah yang ada di Lapangan. Diharapkan nantinya kondisi tanah mampu menahan akibat beban Air dan beban bangunan bendungan itu sendiri.

#### b. Pemetaan Tanah

Pemetaan ini dilakukan pada tapak bendungan yang didasarkan dari hasil sondir dan bor log yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui material konstruksi yang cocok digunakan untuk Bendungan. Titik Sondir dan Bor Log dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 7.4 Titik letak Sondir dan Borlog







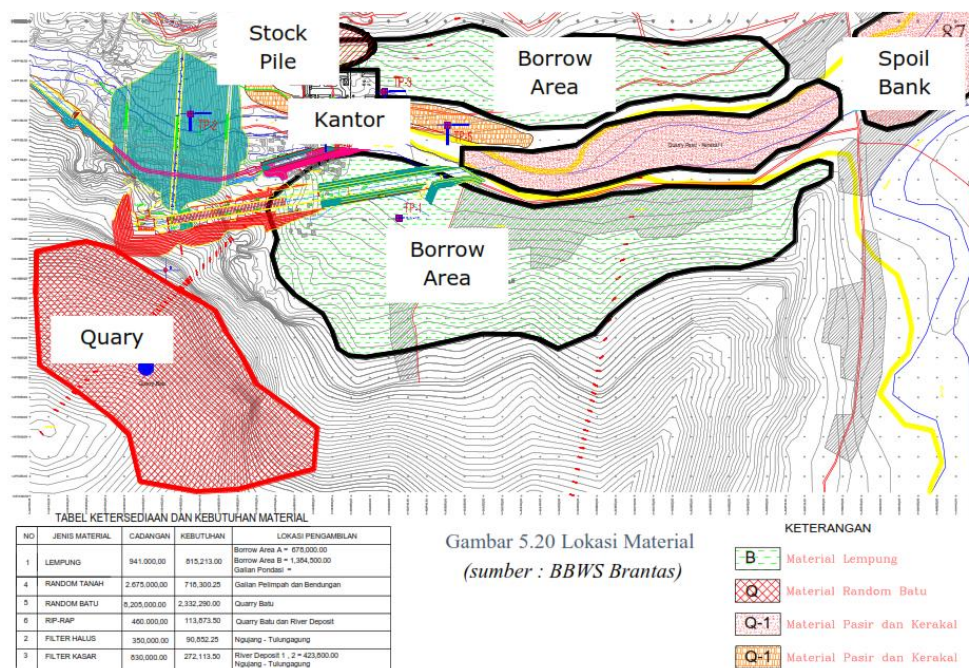
Gambar 7.5 Pemetaan Geologi Tiap Tiap Titik Sondir

c. Penyelidikan Lapangan untuk Borrow Area

Borrow area adalah lokasi dimana timbunan dapat diambil untuk dijadikan urugan terutama pada tubuh bendungan yang memerlukan volume timbunan yang cukup banyak. Material tanah sebagai bahan timbunan dapat diperoleh di sekitar rencana Bendungan Way Apu berupa pelapukan dari batuan sekitarnya yaitu lempung sampai lempung pasir. Hal ini bertujuan untuk menentukan:

1. Jenis dan Jumlah peralatan yang digunakan.
2. Minimum jumlah lintasan untuk pemadatan
3. Ketebalan lapisan sebelum dan sesudah pemadatan
4. Pemeliharaan terhadap kelembaan material yang ada di *stock pile*

Pengujian akan dilakukan setiap 50.000 m<sup>3</sup> atau sebulan sekali ketika ada perubahan atau penggantian *borrow area* atau setiap perubahan material yang dipilih untuk penggalian



Gambar 5.20 Lokasi Material  
(sumber : BBWS Brantas)

Gambar 7.6 Contoh Borrow Area Bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur

Sumber: BBWS Brantas, dalam Darmawan & Rohman, 2018

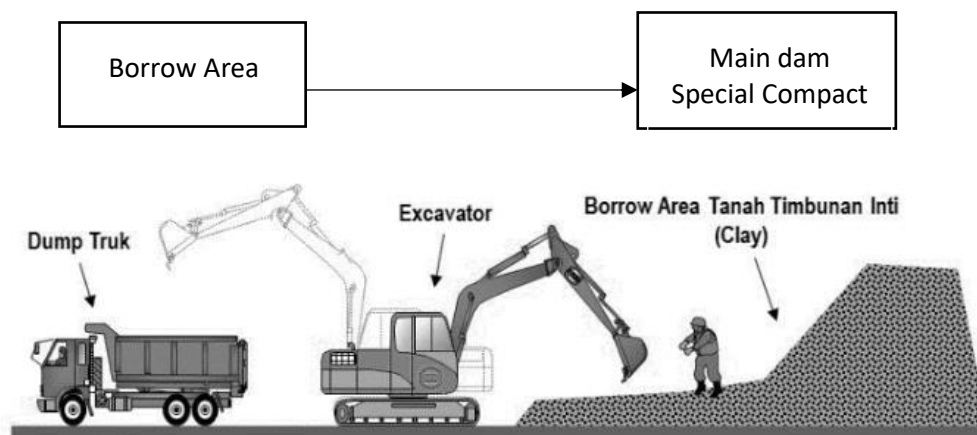


#### 7.4 Pelaksanaan Timbunan Tiap Zona

Timbunan pada Bendungan terdiri dari berbagai macam zona, diantaranya sebagai berikut:

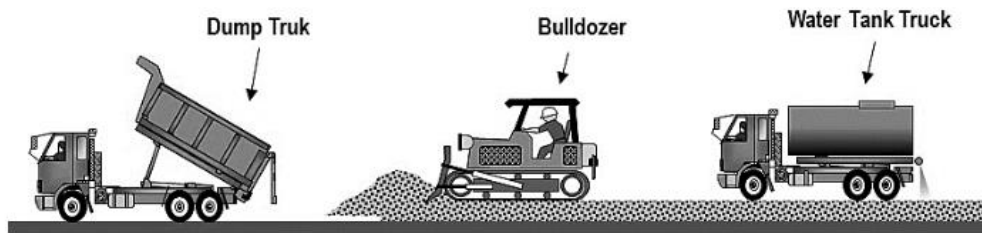
##### 1. Impervious Zone ( Zone 1 )

Konstruksi impervious zone dengan special compact membutuhkan akurasi yang tinggi karena material harus dipilih secara khusus sesuai spesifikasi berupa material plastis dari borrow area. Material ini dihamparkan dan dipadatkan secara khusus dengan ketebalan 30 cm per layer pada permukaan pondasi dam. Sedangkan pada denah yang bersinggungan dengan struktur beton, material core harus dipadatkan dengan mekanikal tamper untuk menjaga kestabilan hasil pemadatan. Kandungan lembab (*moisture content*) pada material sebelum dan selama pemadatan harus dijaga pada setiap lapis. Sebagai acuan, kandungan lembab material zona 1 harus, selama dan sesudah emadatan, berada dalam kisaran -3% hingga +1% dari kandungan lembab tertinggi berdasarkan upaya pemadatan pengawasa standar. Dan jika kandungan kelembaban masih kurang maka dapat ditambahkan air tidak lebih dari 3% berat material, tetapi jika terlalu basah maka dapat dikeringkan dengan digaru sampai kelembaban sesuai dengan perencanaan.



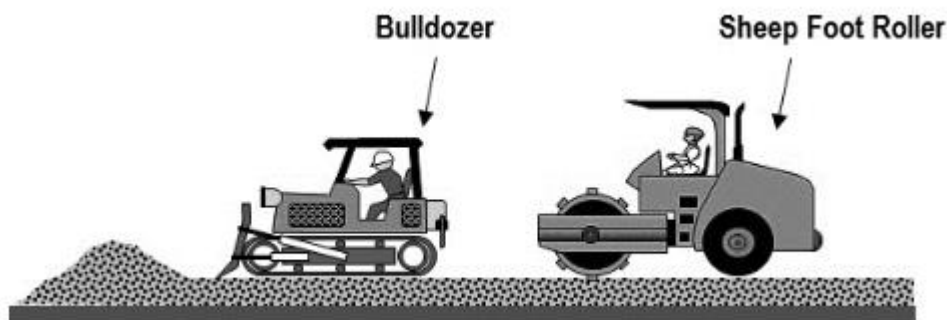
Gambar 7.7 Ilustrasi Pengambilan Borrow Zone area inti

Setelah digali, galian timbunan zona inti dari borrow area diangkut dengan menggunakan excavator ke atas dump truck yang kemudian dibawa ke lokasi penimbunan.



Gambar 7.8 Ilustrasi Penghamparan Material dengan Bulldozer

Lalu, timbunan dihampar di lokasi dan diratakan dengan bulldozer dengan lapisan tidak lebih dari 30 cm sebelum dipadatkan.



Gambar 7.9 Ilustrasi Pemadatan dengan Sheep Foot Roller

Pelaksanaan timbunan dilaksanakan dengan metode miring searah dengan as bendungan. Pada bagian *contact clay* (bagian yang bersentuhan langsung dengan pondasi dengan material inti). Pada kondisi permukaan pondasi yang luas dan rata digunakan *contact clay* yang dinamakan *slurry clay* atau bubur lempung. Dimana metode untuk pembuatannya ialah sebagai berikut:

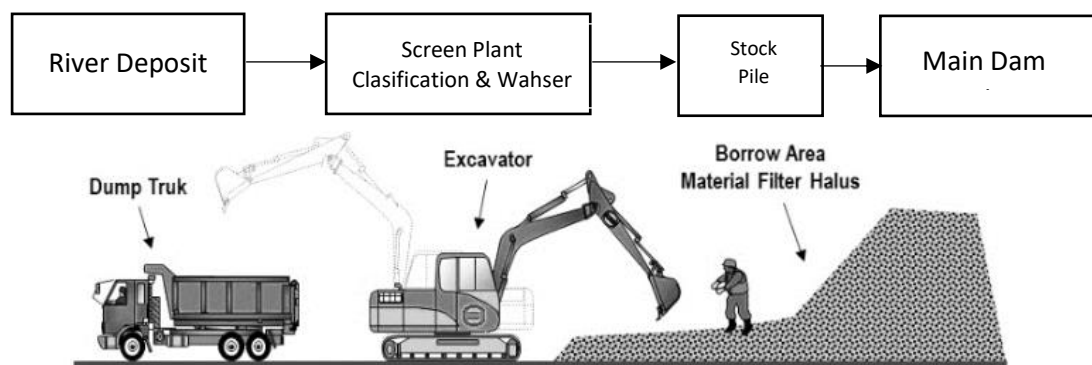
1. Tanah lempung dari zona inti dicampur dengan air hingga menjadi bubur dan kemudian disiramkan diatas permukaan *capping concrete area* timbunan zone 1
2. Di atas permukaan beton *capping* dan lapisan bubur lempung dihampar tanah lempung (zona inti)
3. Seluruh permukaan yang direncanakan sudah tertutupi material lempung, selanjutnya dihamparkan dengan bulldozer dengan ketebalan sesuai desain.

Apabila lapisan teratas penimbunan zona 1 terkena hujan maka diusahakan agar air hujan dapat mengalir keluar sesegera mungkin dengan menghilangkan cekungan yang terdapat di permukaan lapisan dan membuat parit sementara.

## 2. Fine Filter ( Zone 2 )

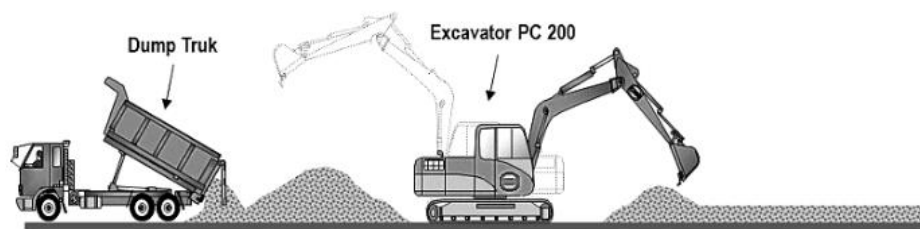


Material yang dibutuhkan untuk fine filter dan coarse filter terdiri dari pasir dan gravel dari sungai deposit. Sebelum dikirim ke lokasi site, material tersebut harus diproses melalui screening, classifying dan washing plant untuk mencapai gradasi yang dipersyaratkan. Gradasi dari fine filter biasanya terdiri dari pasir dan gravel dengan maksimum size 20 mm dan lolos saringan No. 200 ( 0,074 mm ) dengan jumlah lebih kecil dari 5% dan tertahan / tidak lolos saringan No, 4 ( 4,76 mm ) dengan jumlah lebih kecil 50%. Ketika penghamparan, tidak boleh ada fragmen batuan yang kurannya melebihi desain atau kantung kantung batuan dan sekelompok batuan yang akan mengganggu pemadatan material dengan sempurna, dan jika ada sesegera mungkin dibuang untuk kesempurnaan pemadatan. Pada penghamparan juga harus dilakukan secara terus menerus kurang lebih berupa lapisan mendatar untuk mencegah terjadinya segregasi/rongga pada formasi batuan. Selain itu, pada saat bahan dituangkan dari dump truck biasanya terjadi konsentrasi butiran yang kasar di daerah tepi yang harus disungkirkan. Pelaksanaan penimbunan zona 2 dan zona 3 yang berbatasan dengan zona 4 pelaksanaannya ialah zona filter tetap harus lebih tinggi daripada zona yang berdekatan.



Gambar 7.10 Ilustrasi Pekerjaan Pengambilan Material dari Borrow Area

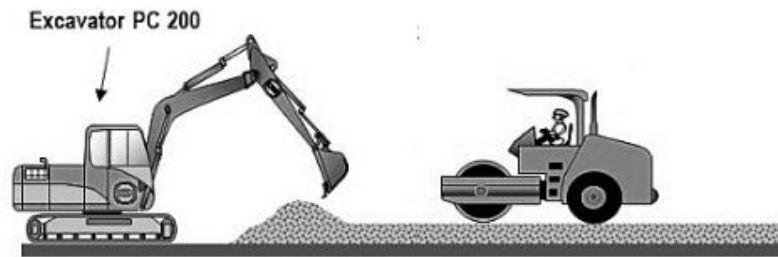
Pengambilan filter dilakukan dengan excavator dan diangkut di dump truck menuju lokasi penimbunan



Gambar 7.11 Ilustrasi Pekerjaan Penghamparan Timbunan Filter



Penghamparan dilakukan dengan menggunakan excavator. Ketebalan diatur agar tidak melebihi 40 cm dalam kondisi belum dipadatkan.

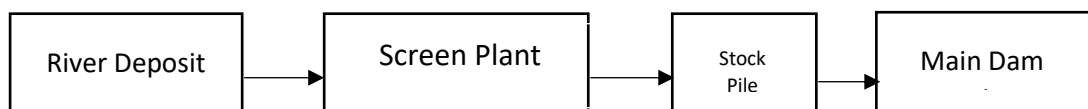


Gambar 7.12 Ilustrasi Pemadatan menggunakan Vibratory Roller

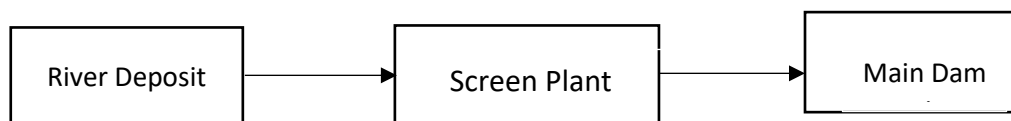
Pemadatan dilakukan dengan vibratory roller/bulldozer dengan lintasan sesuai dengan hasil trial embankment. Khusus area timbunan yang berada di jalan akses, perlu dilindungi oleh pelat agar tidak terjadi pencemaran material dengan zona lain

### 3. Coarse Filter ( Zone 3 )

Hampir sama dengan zone 2, material untuk coarse filter drain terdiri dari pasir dan gravel dengan spesifikasi dan gradasi tertentu. Sebelum dikirim ke site material harus diproses melalui screening plant. Selain itu, material harus bebas dari debu dan clay oleh karena itu harus dilaksanakan pencucian pada material. Pencucian material dilaksanakan dengan excavator melalui air sungai itu sendiri sebelum disalurkan ke screening plant. Gradasi dari coarse filter terdiri dari pasir dan gravel dengan ukuran maksimum 50 mm dan lolos saringan no 200 dengan jumlah kurang dari 5% dan tidak lolos saringan no 4 diameter 40% dan 70%. Dan ketebalan dari setiap lapisan tidak boleh melebihi 30 cm sebelum pemadatan. Pemadatan sendiri dilakukan dengan vibro roller dan dikerjakan dengan bulldozer. Dan selebihnya untuk pemadatan hampir sama dengan zona 2.



### 4. Rock Fill ( Zone 4 )

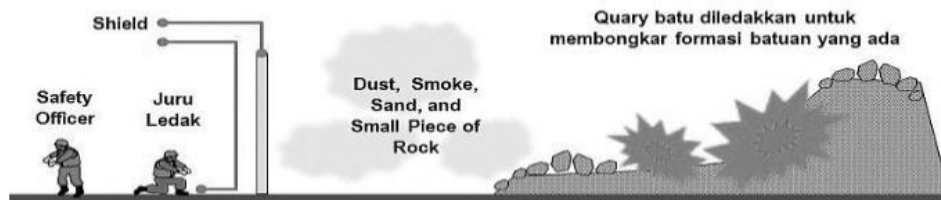


Untuk rock fill berasal dari quarry dengan blasting atau material yang sudah jadi dari river bed. Untuk gradasi, gradasi rock fill terdiri dari well graded rock, boulders dan



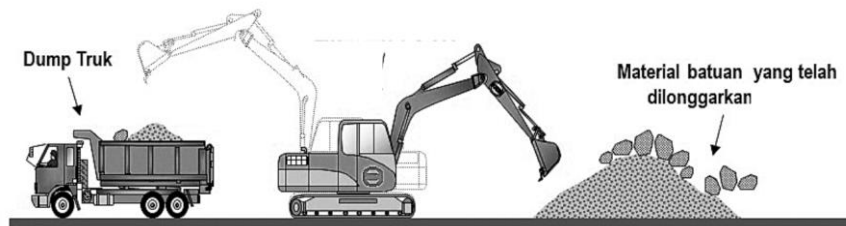


gravel dengan ukuran maksimum kurang dari 30 cm. Material tersebut tidak boleh melebihi jumlah sebanyak 30% lolos saringan no 4 dan tidak melebihi jumlah sebanyak 5% lolos saringan no 200. Pada tempat tempat dimana berdekatan dengan random fill Maka penyedia jasa harus berhati hati untuk menjamin tidak ada material yang melebihi ukuran yang terdampar pada lokasi tersebut. Material zona ini dihampar secara terus menerus agar tidak terjadi segregasi.



Gambar 7.13 Ilustrasi Peledakan untuk Material Rock Fill

Material didapatkan dari quarry dan ada beberapa yang didapatkan dengan proses blasting menggunakan *smooth blasting* dan *pre-splitting*.



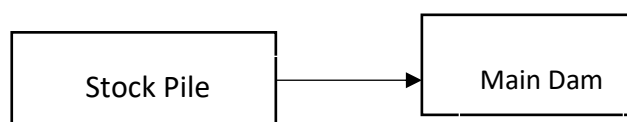
Gambar 7.14 Ilustrasi Pengangkatan Material Rock Fill

Kemudian, hasil dari blasing diangkat ke dalam dump truck menggunakan excavator dimana sebelum diangkut dilonggarkan terlebih dahulu agar mudah dalam memilih batuan. Setelah diangkut, timbunan batu dihampar dengan menggunakan bulldozer dengan tebal setiap lapis maksimal sebesar 80 cm sebelum dipadatkan



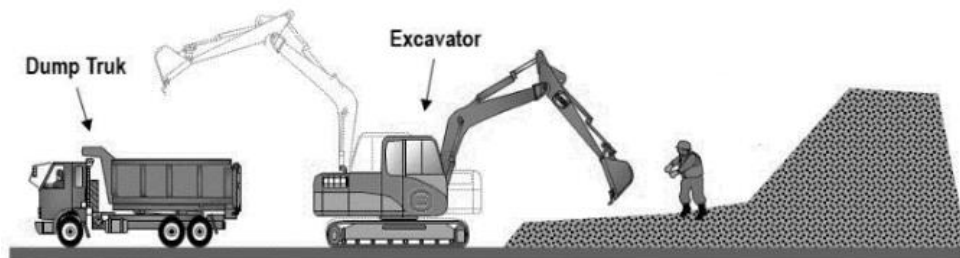
Gambar 7.15 Ilustrasi Pemadatan dengan Vibro Roller

## 5. Random Fill



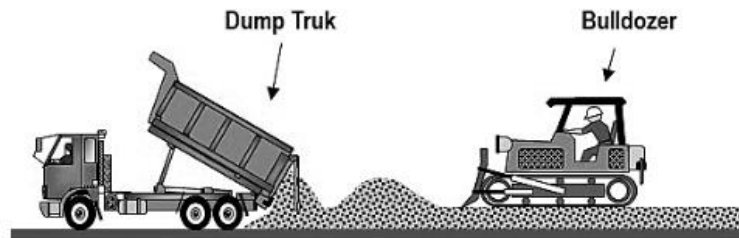


Material ini dipasang pada down stream slope dari timbunan dam dan berasal dari stock pile excavated material/hasil galian terseleksi yang diambil dari galian spillway, bendungan dan conduit atau sumber material yang lain. Material ini berasal dari weathered rock dengan ukuran maksimum 10 cm, lolos saringan no 200 kurang dari 30%. Dan tiap lapis tidak boleh lebih dari 50 cm ketebalan sebelum pemadatan. Dan pemadatan dari random fill sama seperti pemadatan pada rock fill. Sebelum dan selama pemadatan material random fill harus memiliki kelembapan yang merata sesuai dengan desain. Untuk ilustrasinya sebagai berikut:



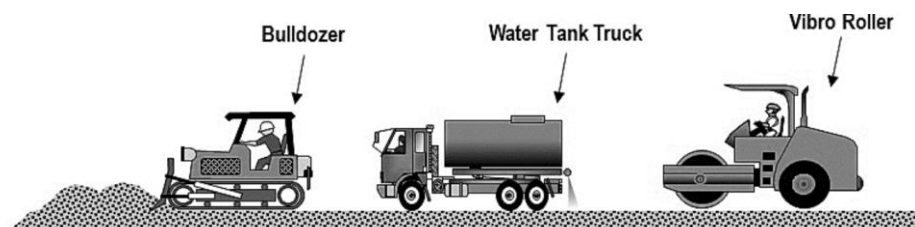
Gambar 7.16 Ilustrasi Pekerjaan Pengambilan Random Fill

Material tersebut diambil dari quarry dengan menggunakan excavator lalu dimasukkan ke dalam dump truck yang akan membawa material ke lokasi penimbunan.



Gambar 7.17 Ilustrasi Penghamparan Material Timbunan Random Fill

Material timbunan random dihampar di lokasi dengan menggunakan bulldozer dengan setiap ketebalan layer maksimum 40 cm sebelum dipadatkan.



Gambar 7.18 Ilustrasi Pemadatan dengan Menggunakan Vibro Roller

Random fill dipadatkan menggunakan vibroroller, apabila dirasa kelembapan air kurang maka dapat ditambahkan air dengan menggunakan water tank truck.



## 6. Rock Rip Rap

Gradasi untuk rip rap rock terdiri dari well graded rock dengan ukuran lebih dari 30 cm dan kurang dari 75 cm. Distribusi material sama dengan rock fill, dan penempatan di site dengan bucket excavator atau hand placing. Apabila ada material yang dihampar terdapat partikel yang lebih besar atau lebih kecil dari ukuran yang telah ditentukan, maka material tersebut harus segera dibuang dan adanya rongga rongga yang besar juga harus segera dihilangkan. Untuk kriteria desain zona rip rap ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 7.1 Tabel Ukuran Partikel Zona Rip Rap

	Particle Size/Ukuran Partikel				
	100 mm	200 mm	500 mm	1000 mm	1250 mm
Persentase Lolos (%)	4 - 0	10 - 0	55 - 25	100 - 80	100

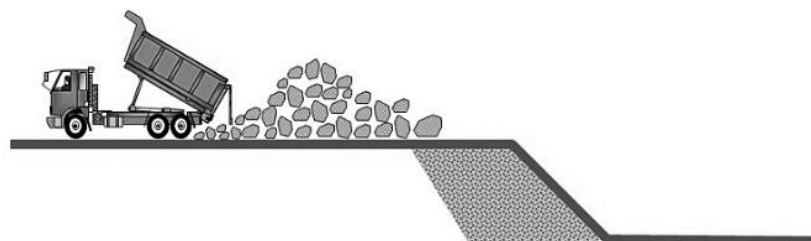
Sumber: BBWS Brantas

Dalam pelaksanaan pekerjaan timbunan material harus dilakukan dengan baik. Sehingga kemungkinan segregasi akan semakin kecil untuk terjadi. Dan material untuk zona rip rap harus terhampar secara terus menerus sehingga formasi lebih merata, untuk ilustrasinya sebagai berikut:



Gambar 7.19 Ilustrasi Pekerjaan Pengangkutan Material Rip Rap

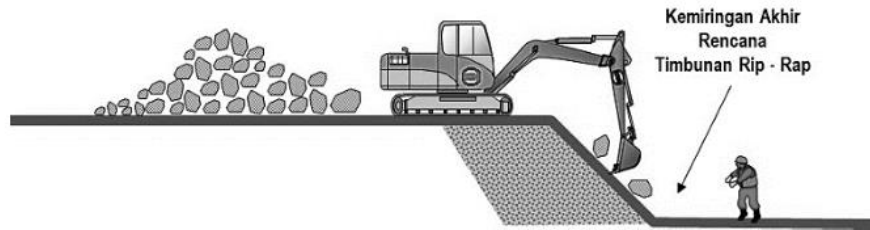
Material rip rap didapatkan dari quarry, namun juga didapatkan dari blasting.



Gambar 7.20 Ilustrasi Pekerjaan Penurunan Material Rip Rap

Material lalu dihamparkan di dekat lokasi penimbunan pada lokasi yang telah ditentukan.





Gambar 7.21 Ilustrasi Pekerjaan Peletakkan Material Rip Rap

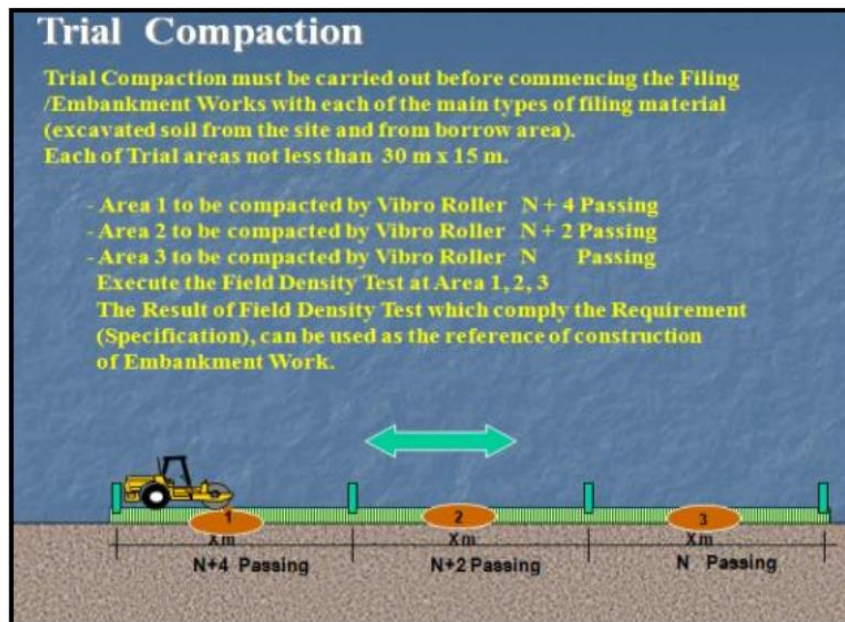
Selanjutnya yaitu peletakkan timbunan rip rap dengan menggunakan alat bantu excavator, pada peletakkan ini dikawal oleh tim survey dan diawasi oleh pelaksana sehingga mendapatkan kemiringan akhir yang baik dan tidak ada fragmen yang memiliki rongga sehingga mendapatkan interlock yang baik

## 7.5 Trial Embankment

Sebelum memulai penimbunan inti bendungan perlu diadakan suatu tes/percobaan guna mengetahui apakah semua parameter yang ada dan tata cara pelaksanaan penimbunan sudah sesuai dengan yang disyaratkan. Secara umum uji lapangan ini merupakan simulasi pekerjaan timbunan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menguji kecocokan metode pengolahan material di borrow area
2. Menguji kecocokan metode pengolahan material di Borrow Area
3. Menguji kecocokan metode penyimpanan material
4. Mengetahui pengaruh ketebalan lapisan, jumlah lintasan dan jenis alat
5. Memperoleh parameter tanah timbunan ideal dan optimal terhadap material lokasi setempat seperti kadar air optimum (OMC/Optimum Moisture Content)
6. Lokasi tempat untuk trial embankment harus mendapat persetujuan pengawas pekerjaan.

Secara garis besar, untuk metode pelaksanaannya digambarkan sebagai berikut:



Gambar 7.22 Skema Trial Embankment

Sumber: Darmawan & Rohman, 2018

Trial embankment sendiri secara garis besar ialah awalan sebelum melakukan pemadatan pada tubuh bendungan. Dimana pada contoh skema diatas dibagi menjadi 3 area yaitu Area 1, Area 2, dan Area 3 dimana masing masing area dipadatkan dengan perilaku yang berbeda. Dimana pada Area 1 dilakukan dengan N passing, pada area 2 dilakukan dengan N+2 Passing, dan area 3 dilakukan dengan N+4 passing. Sehingga hasil akhir dari tahapan ini ialah untuk menentukan berapa lintasan yang diperlukan pada masing masing zona

## 7.6 Pekerjaan Pemadatan

Pemadatan adalah sebuah proses dimana udara pada pori pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis. Hal ini bertujuan agar kekuatan tanah meningkat daya dukung. Untuk bendungan, pemadatan merupakan salah satu pekerjaan wajib yang harus dilakukan karena air dapat merembes sehingga tanah perlu dipadatkan agar tubuh bendungan tidak mudah rubuh. Standar Metode Pemadatan dapat dilihat pada tabel berikut :



Tabel 7.2 Standar Metode Pemadatan

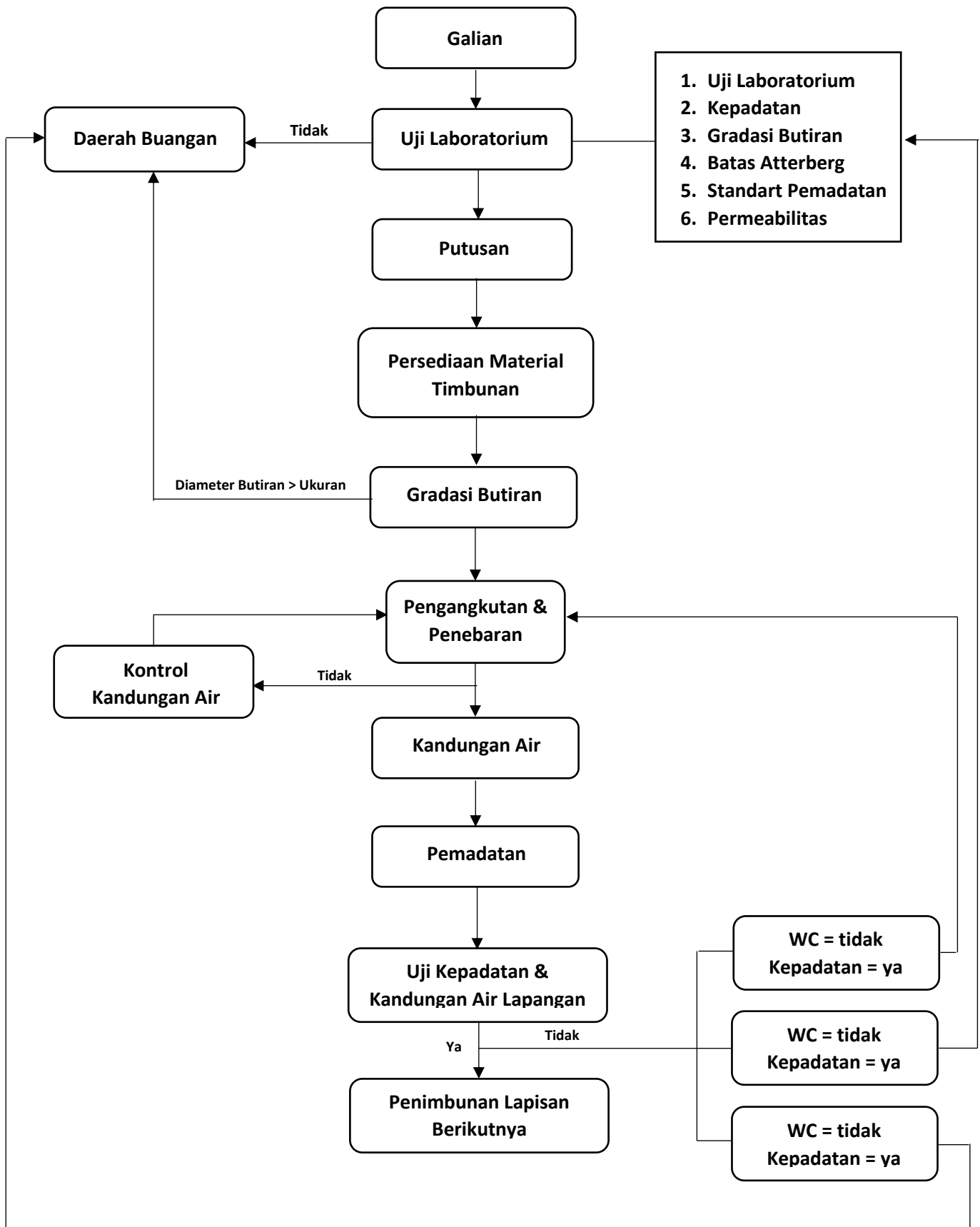
( Sumber : Engineering manual for irrigation and Drainase no. 3 Fill Dam )

Tipe	Mesin	Material yang dipadatkan	Kedalaman Lapisan	Lintasan	Keterangan
Tipe Pemadatan Berputar	Tired roller,	Lempung kering	15-25cm	6-10	Multiple axis type>10-30ton lebih disukai
	sheep foot, tamping roller	Lempung Basah	15-25cm	6-10	3-8 ton (tractor) type 22 ton mobile type
	Tamping roller	Material tanah campur batu (sirtu) batu pecah	30-45cm	5-7	
Tipe Getar	Tired Roller	Tanah Lempung (Kering)	10-25cm	6-8	3-11ton
	Flat Roller	Material campur kerikil	25-30cm	5-7	3-5 ton (untuk menyambung timbunan harus dikasarkan/digaruk)
		Kerikil / batu pecah	20-30cm	5-7	
	Compactor	Material campur kerikil atau sebagian tanah dasar asli	20-30cm	3-5	0,5-2ton
	Tamper	Sebagian pada tanah dasar asli atau medan sempit	10-20cm	3-5	50-500kg tampling rammer atau rammer getar
Compact Type	Rammer	Sebagian pada tanah dasar asli atau medan sempit	10-20cm	3-5	50-500kg rammer, 15kg pneumatic rammer pasir



## 7.7 Flowchart Kontrol Kualitas Timbunan

Secara garis besar, untuk flowchart kontrol kualitas timbunan dapat dilihat sebagai berikut :





## **BAB VIII**

### **INSTRUMENTASI BENDUNGAN**

#### **8.1 Pekerjaan Instrumentasi DAM**

Pekerjaan instrumentasi pada bendungan merupakan pekerjaan yang penting karena fungsi dari pekerjaan ini adalah pemasangan peralatan peralatan yang digunakan untuk memonitor kondisi bendungan, sehingga kemungkinan-kemungkinan hal yang terjadi seperti rembesan air, penurunan timbunan, dapat dideteksi sedemikian rupa.

Pada prinsipnya, parameter dasar yang harus diukur untuk keperluan instrumentasi, adalah :

1. Debit dan kualitas air rembesan
2. Deformasi (vertical & horizontal)
3. Tekanan air pori/muka air freatis
4. Vibrasi ( Bila bendungan tinggi dan terletak pada zona gempa sedang – tinggi )

Penentuan jumlah, jenis, dan lokasi instrument yang diperlukan dapat dilakukan secara efektif berdasarkan gabungan antara pengalaman, akal, dan intuisi. Dikarenakan setiap bendungan memiliki masalah khusus dan memerlukan solusi sendiri untuk persyaratan instrumentasi. Oleh karena itu, dalam mendesain sistem instrumentasi perlu dipahami, dan dipertimbangkan berbagai pengaruh yang terjadi seperti geoteknik pada tubuh bendungan, fondasi, embankmen, dan tebing. Pada instrumentasi bendungan kali ini mengacu pada Pedoman Konstruksi dan Bangunan dengan nomor Pd T-08-2004-A tentang Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul.

#### **8.2 Manfaat instrumentasi**

Pemasangan instrument bendungan memiliki arti yang sangat penting, dikarenakan dapat bermanfaat sebagai :

1. Perkiraan secara analitis keamanan bendungan
2. Perkiraan perilaku jangka Panjang
3. Evaluasi legal (aspek hukum)
4. Pengembangan dan verifikasi untuk desain yang akan datang

Untuk memenuhi hal tersebut data hasil pengamatan instrumentasi harus merupakan data lengkap dan dapat dipertanggung jawabkan. Data tersebut antara lain berupa data kuantitatif

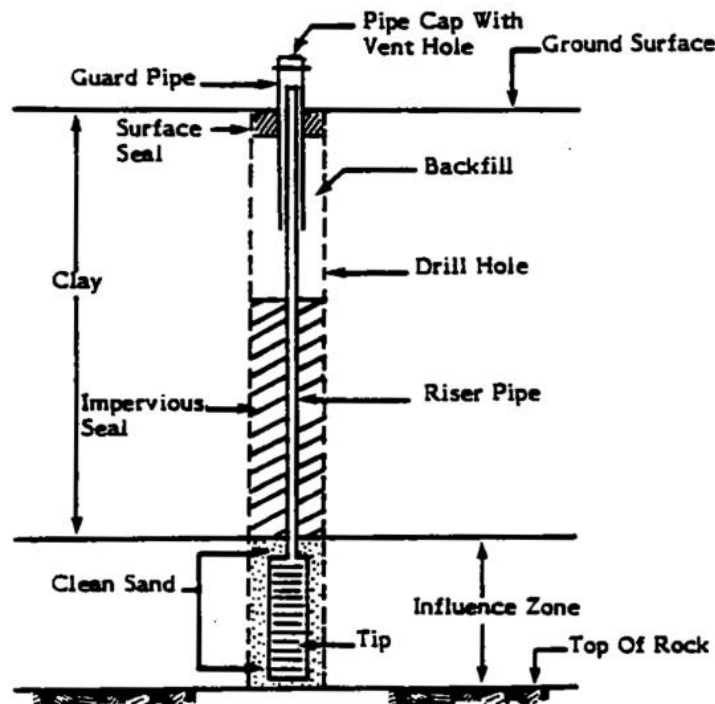


untuk menilai atau menaksir besarnya tekanan air pori, deformasi, tegangan total, bocoran, temperature, kejadian gempa, dan muka air waduk.

### 8.3 Jenis jenis instrument

#### a. Alat ukur tekanan air pori ( Piezometer )

Pada pemeriksaan kestabilan serta pengawasan konstruksi pekerjaan tanah, diperlukan data perubahan tekanan air pori pada tempat tertentu sebelum kita bisa menganalisis prinsip prinsip tekanan efektif. Prinsip dasar dari piezometer adalah bahwa suatu elemen yang porous dari pisometer dapat dimasukkan ke tanah, shingga air tanah dapat masuk ke dalamnya dan terkumpul dalam unit elemen. Pengukuran permukaan air atau tekanan air di dalam alat pisometer dapat digunakan untuk menghitung besarnya tekanan air pori.



Gambar 08.1 Piezometer

Mata pisometer dibuat sedemikian rupa agar dapat mengukur tekanan air pori pada lapisan tanah yang jenuh Sebagian atau jenuh sempurna, pada pekerjaan pemadatan tanah timbunan, budang pertemuan tanah dan dinding atau pondasi tiang serta pada suatu struktur yang mendapat beban dinamik. Selain itu, pisometer dapat digunakan untuk mengukur elevasi muka air freatis yang terjadi di dalam tubuh bendungan. Berdasarkan prinsip kerjanya, terdapat 2 macam piezometer yaitu

#### a. Pisometer Terbuka



- Pisometer Pipa Tegak ( Standpipe Pizometer )
    - Pourus Tube Pisometer, yakni ujung pipa ( mata pisometer ) berupa pipa berlubang – lubang atau perforasi yang porous )
    - Slotted pipe pisometer ( mata pisometer dari pipa yang digergaji dengan spasi tertentu )
  - Pipa atau sumur pengamatan ( observation well )
- b. Pisometer tertutup
- Pisometer pipa ganda hidrolik
  - Pisometer pneumatik
  - Pisometer Elektrik

Tabel 08.1 Spesifikasi Piezometer

No	Uraian	Jenis Pisometer			
		Pipa Tegak	Hidrolis	Pneumatic	Elektrik
1	Umur dalam Penggunaan	Lama	Lama	Sedang	Pendek
2	Ketelitian	Sedang	Rendah	Sedang	Tinggi
3	Respons (Time lag)	Lama	Cepat	Sangat Cepat	Sangat Cepat
4	Biaya pemasangan	Sedang	Sedang	Mahal	Mahal
5	Pemasangan	Mudah	Sedang	Kompleks	Kompleks
6	Pembacaan/Pengukuran dan Pemeliharaan	Mudah	Sedang	Kompleks	Mudah
7	Waktu pembacaan	Lama	Sedang	Sedang	Cepat
8	Mengukur tekanan negatif	Tidak	Ya	Tidak	Ya
9	Lain - lain	Mata Piso Dapat Tersumbat	Tubing dapat terumbat	Harus dirawat terhadap kelembaban	Sensitif terhadap perubahan temperatur

b. Alat ukur Tekanan Tanah Total

Alat ukur ini dipasang dengan fungsi untuk mengukur :

- a. Tegangan tegangan pada bidang pertemuan antara suatu konstruksi yang kaku dengan timbunan tanah
- b. Tegangan yang terjadi di dalam tanah/batuan pada kondisi pembebanan tertentu

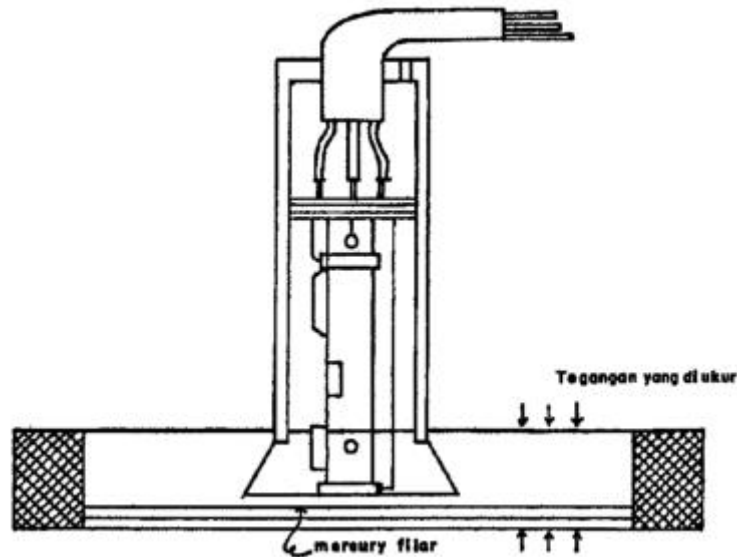
Pengukuran tegangan total ini biasanya disertai dengan pengukuran tegangan air pori untuk memperoleh tegangan efektif. Beberapa alat pengukur tekanan tanah total diantara lain :

- a. Hydraulic / Pneumatic Pressure Cell

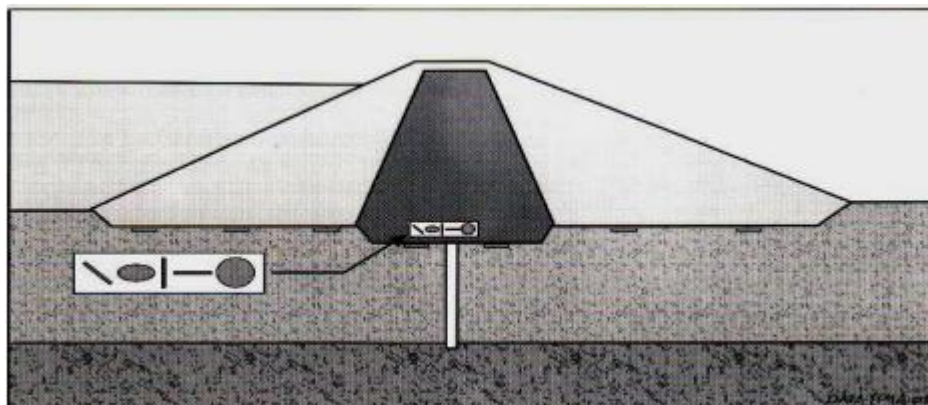




Instrumen ini didesain untuk mengukur tegangan tekan pada tanah. Celah diantara dua keping logam terisi cairan yang dapat diukur tegangannya akibat tekanan tanah atau batuan yang bekerja di sekelilingnya.



Gambar 08.2 Pneumatic Pressure Cell

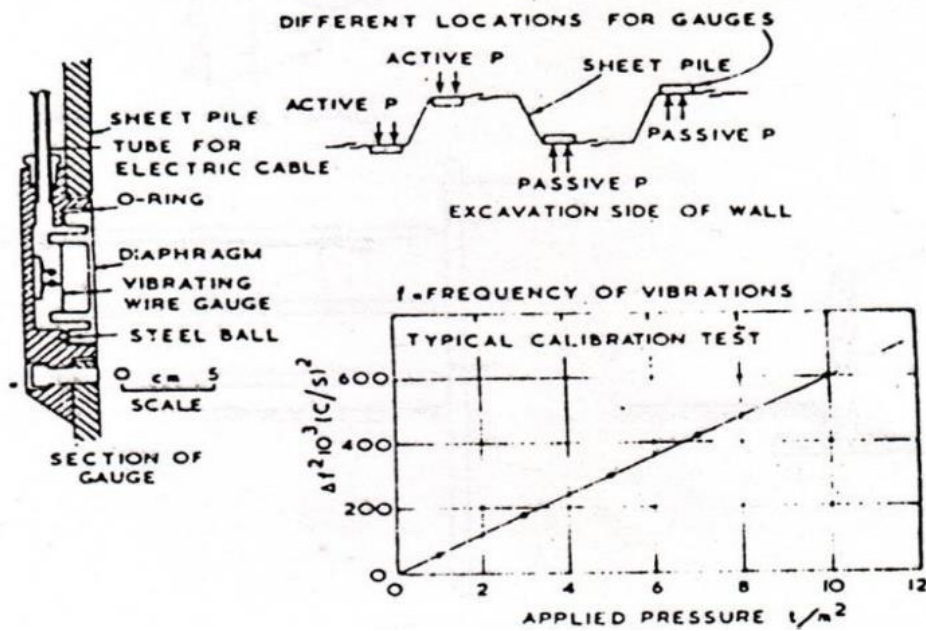


Gambar 08.3 Ilustrasi Pneumatic Pressure Cell

b. Vibrating Wire ( VW ) Pressure Cell

Prinsip kerja alat ini menggunakan sistem pengukuran frekuensi kawat baja yang berubah ubah karena tegangannya yang berubah juga, dan terbaca dalam suatu medan magnet yang dibangkitkan dari kumparan.

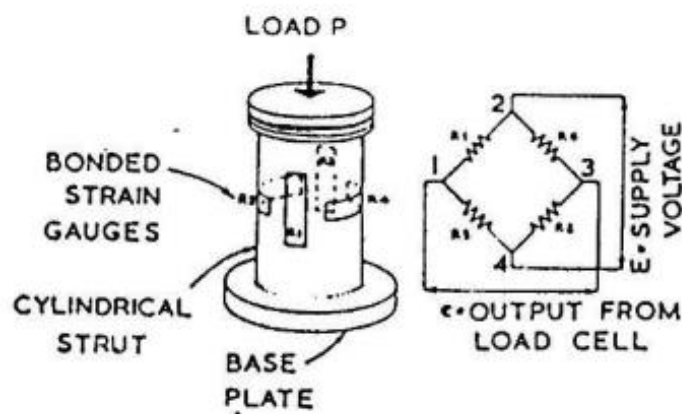




Gambar 080.4 Vibrating Wire Pressure Cell

c. Strain Gauge Load Cell

Alat pengukur beban ini dipasang pada batang angkur dalam suatu galeri atau tumpuan. Dengan prinsip kerja berdasarkan tahanan listrik suatu logam yang berubah karena deformasi akibat beban yang bekerja.



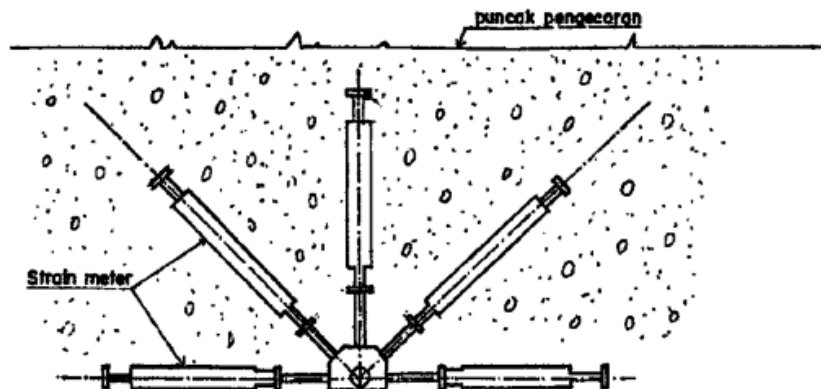
Gambar 08.5 Strain Gauge Load Cell

d. Alat pengukur regangan (Strain Meter)

Prinsip dasar dari alat ini yaitu mengubah tarikan pada kawat elastis menjadi besaran tahanan. Selain itu sensor tersebut dapat merubah temperature kawat menjadi besaran tahanan kawat tersebut. Tujuan dipasangnya alat ini yaitu untuk mengetahui besarnya regangan antara bendungan dan tumpuan/ pondasi atau diantara komponen – komponen bendungannya sendiri. Biasanya dibuat



percabangan arah dari suatu titik yang ditinjau untuk penghematan tempat yang sering dinamakan strain meter spider

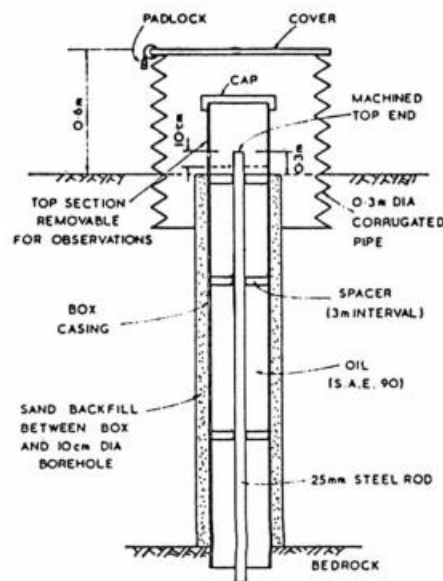


Gambar 08.6 Strain Meter

c. Alat ukur pergerakan

a. Patok Geser (Surface Monuments)

Alat ini berupa patok/monument dipasang untuk mengukur pergerakan permukaan tanah baik vertical maupun horizontal di sekeliling struktur yang diamati, semisal di puncak dan lereng bendungan. Alat ini harus tertanam cukup dalam dan kuat, stabil, dan mudah diakses oleh petugas pengukur. Instrumen alat ini cukup sederhana dimana umumnya teridri dari beton yang dicor kedalam lubang bor, sedangkan baja tulang atau angker diikatkan dalam Survey Monument Beton. Kedalaman lubang tergantung dari posisinya.

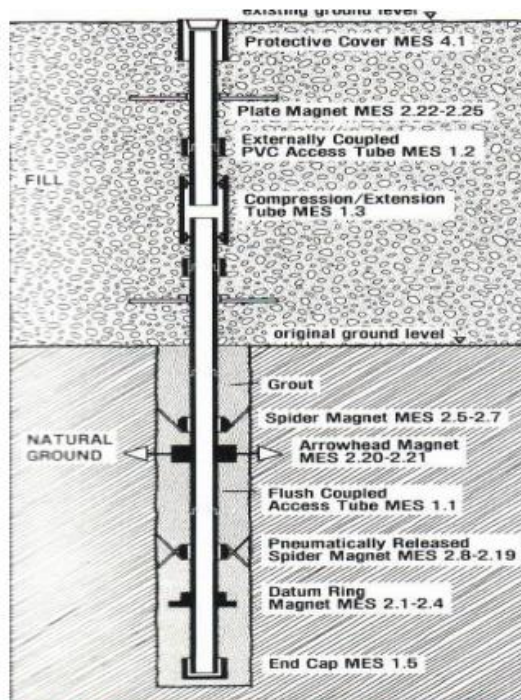


Gambar 08.7 Surface Moments



b. Magnetic Extensometer

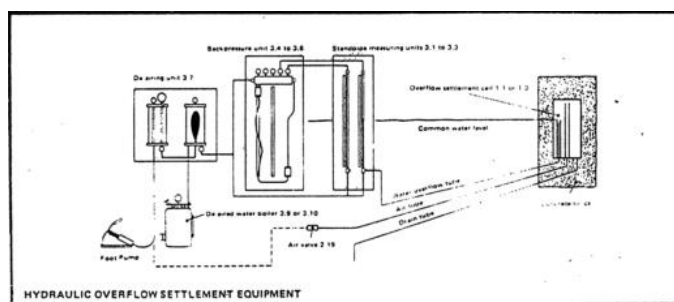
Alat ini dipasang untuk mengukur pergerakan vertikal (penurunan) dari lapisan tanah yang tidak hanya berupa timbunan, namun juga ada pada fondasi melalui lubang bor.



Gambar 08.8 Magnetic Extensometer

c. Hydraulic Settlement Cell

Instrumen ini dipasang pada timbunan ( tubuh bendungan ) tanpa menggunakan batang batang atau pipa vertical yang dapat mengganggu kelancaran pemadatan. Prinsip kerja dari alat ini ialah mengukur permukaan air di dalam cell melalui tabung ke manometer air raksa yang dipasang di gardu pengamatan. Air yang telah bebas dari gelembung udara dimasukkan dari gardu pembacaan, ke dalam cell melalui tubing air, dan air yang melimpas di dalam cell dikembalikan melalui tubing balik/drainase. Instrumen ini dapat mencatat perubahan elevasi dari -5 m hingga + 40 m tinggi kolom air terhadap gardu pembacaan dengan ketelitian 1 cm

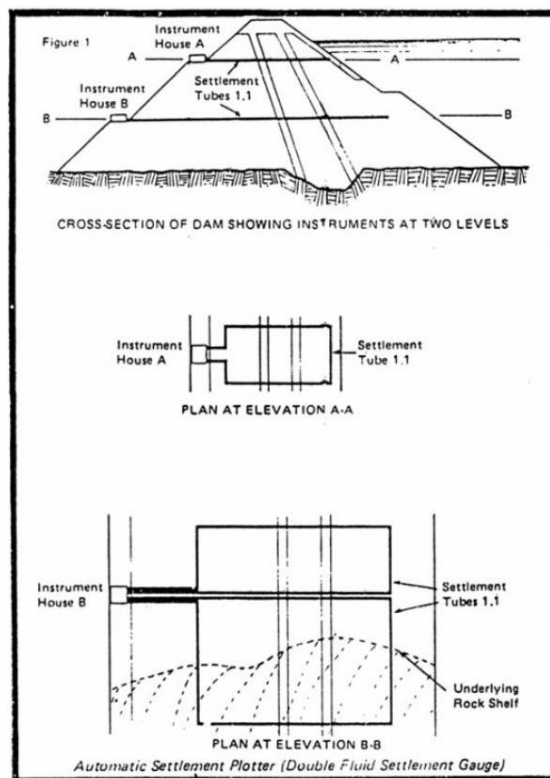


Gambar 08.9 Hydraulic Settlement Cell



d. Automatic Double Fluid Settlement Device ( ADFSD )

Sistem ini direncanakan untuk mengukur penurunan ( Settlement ) secara menerus dengan suatu tubing yang dipasang melingkari geometri bendungan secara horizontal pada elevasi tertentu ( horizontal loop ). Sistem ini memantau perubahan elevasi sekitar 3,5 meter dengan ketelitian  $\pm 1$  cm dengan kecepatan air raksa mengalir adalah 2 meter ( tubing ) permenit. Sistem ini juga dapat mengukur penurunan lapisan tanah hingga 3,5 meter di bawah panel operasional di dalam gardu pembacaan dengan ketelitian  $\pm 1$  cm.

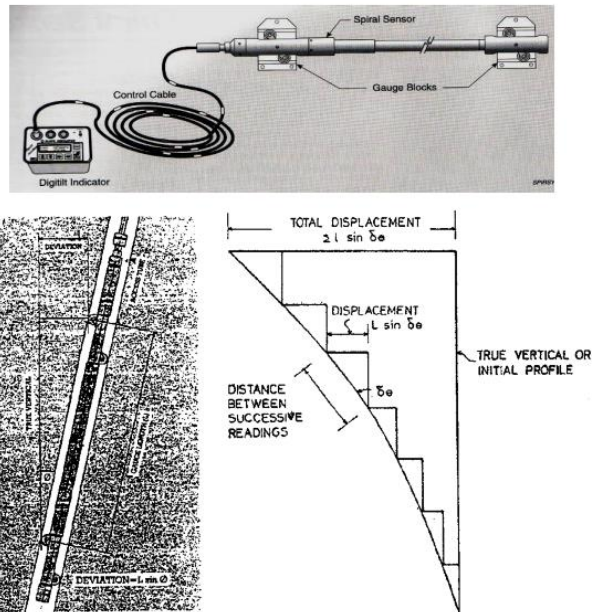


Gambar 08.10 Automatic Double Fluid Settlement Device

Dikarenakan sistem ini menggunakan air raksa dalam operasinya, maka gardu pembacaan harus memiliki ventilasi cukup mengingat bahaya yang bisa timbul dari uap air raksa terhadap tubuh manusia.

e. Inklinometer

Instrumen ini dipasang untuk mengamati atau memonitor suatu pergerakan kearah horizontal di dalam lapisan tanah atau batuan. Pipa alumunium atau plastic yang mempunyai empat alur bersudut antara 90 Derajat dipasang di dalam lubang bor.

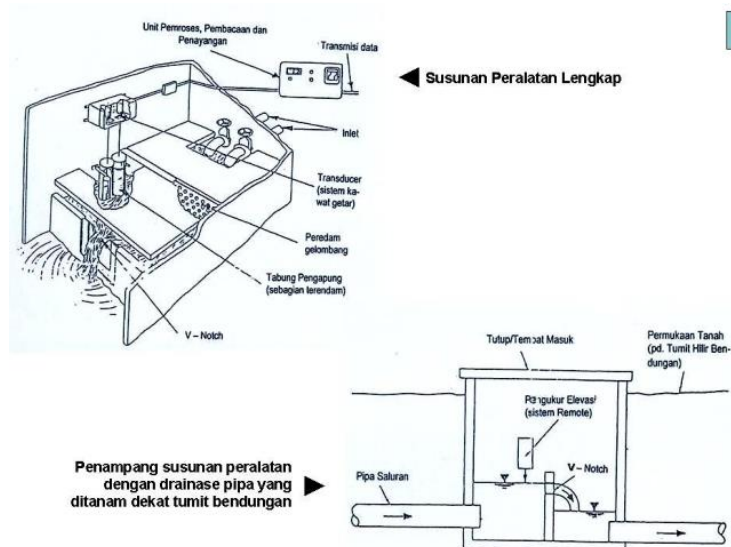


Gambar 08.11 Inklinometer

d. Instrumen Ukur Rembesan

Alat pemantau rembesan dibagi dalam dua jenis yaitu :

- Pemantau debit aliran dengan memasang weir atau flume yang ditempatkan pada lokasi tertentu untuk mengukur debit bocoran. Jika peningkatan debit bocoran tidak normal/berlebih dapat menimbulkan masalah keamanan pada bendungan
- Pemantau kualitas air, hal ini dilakukan dengan membandingkan kualitas air waduk dan kualitas air bocoran di hilir bendungan dan diambil secara kontinu. Contoh air ini dilakukan pengujian unsur unsur kimia dan kadar endapannya.

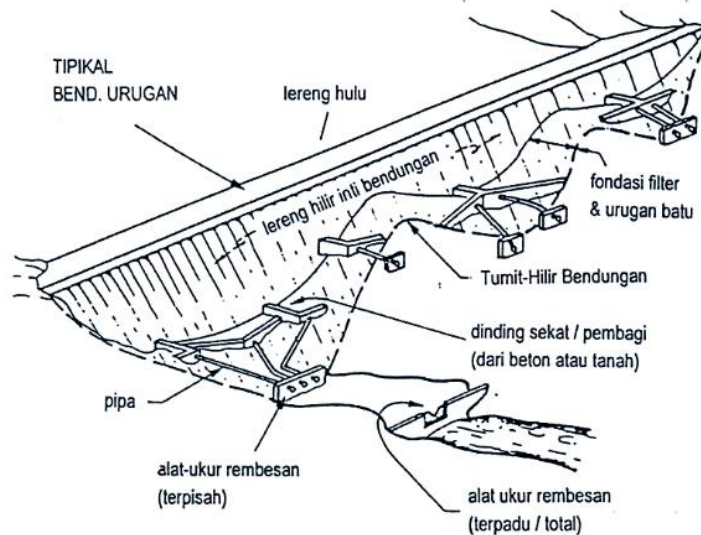


Gambar 08.12 Alat Pengukur Rembesan





Alat ukur rembesan ini biasanya ditempatkan di lembah terdalam di hilir bendungan . Bila kondisi topografi di hilir kaki bendungan bervariasi, maka sistem penempatan alat ukur rembesan dilakukan seperti gambar di bawah.



Gambar 08.13 Ilustrasi Peletakkan Alat Ukur Rembesan

e. Alat pemantau gempa

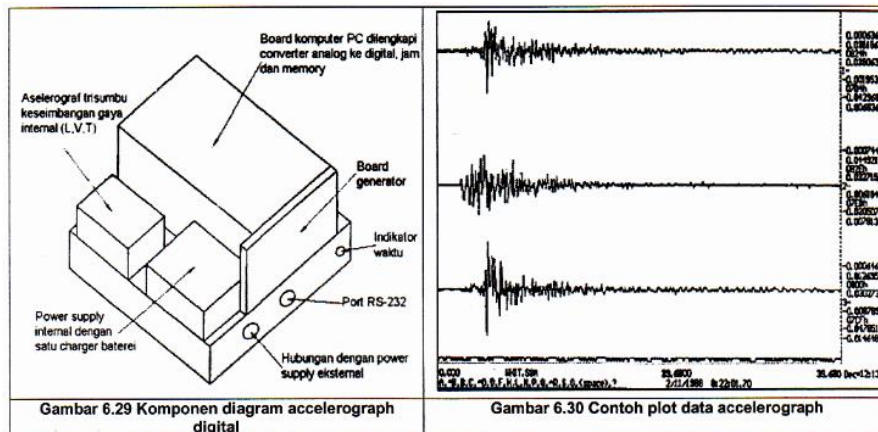
Instrumen gempa yang dipasang pada bendungan digunakan untuk memantau gempa di bendungan. Biasanya alat ini dipasang di bendungan dengan tinggi  $> 40$  m dan tingkat kegempaan yang tinggi. Alat ini dipasang di bagian bawah ( fondasi batuan ), di tengah tengah tinggi lereng hilir dan di bagian puncak bendungan. Komponen yang paling penting pada alat ukur seismic adalah seismometer dan akselerometer.

a. Seismometer

Seismometer adalah penerima getaran yang peka sehingga dapat merekam getaran getaran seismic dalam bentuk grafik getaran. Alat ini dilengkapi dengan sistem pencatat waktu, dan pemasangannya harus diletakkan dalam ruangan kedap air di atas lantai beton yang ditanam di dalam galian pada batuan dasar.

b. Akselerometer

Akselerometer adalah bagian dari seismometer yang berjenis alat sensor getaran yang dapat mencatat getaran secara elektromagnetik. Alat ini didesain untuk mencatat getaran tunggal ke arah horizontal, vertikal, dan transversal. Dalam pemasangan alat ini lebih baik untuk berkonsultasi dengan pihak badan meteorologi, klimatologi, dan geofisika departemen perhubungan.



Gambar 08.14 Akselerometer

Pemilihan Instrumen geoteknik sangat tergantung dari geometri bedndungan, kondisi lapangan serta derajat ketelitian yang diperlukan. Pertimbangan umum dalam pemilihan instrumentasi

1. Ketelitian
2. Alat yang sederhana dan mudah dioperasikan, apabila alat yang sederhana tidak dapat digunakan maka dipilih alat yang lebih kompleks
3. Ketahanan untuk jangka Panjang
4. Pemeliharaan mudah
5. Dapat dipasang dengan mudah
6. Ekonomis baik dalam biaya pemasangan, pemeliharaan, dan pengolahan data
7. Mudah dioperasikan

Untuk pemasangan instrument, pemasangan harus berada pada lokasi yang baik dan dapat dipasang secara terpisah dalam bendungan dan fondasi, dan pipa pelindung yang ditarik dari instrument ke rumah terminal dapat menyebabkan pemadatan pemadatan yang kurang baik dalam daerah tersebut yang dapat menimbulkan alirn secara parsial ( rembesan ) sehingga perlu mendapatkan perhatian serius.



#### 8.4 Bangunan Intake dan Plugging

Bangunan intake berfungsi sebagai mulut pemasukan langsung dari waduk. Bangunan sadap tersebut juga dilengkapi dengan pintu pengatur aliran, saringan sampah (trashrack) dan saringan ikan (fish screen) bila diperlukan serta fasilitas untuk perbaikan, yakni alat penutup bulkhead atau stoplogs.

Jenis-jenis bangunan sadap pada bangunan pengeluaran, tergantung dari topografi, fungsi dan tujuan operasinya, antara lain adalah :

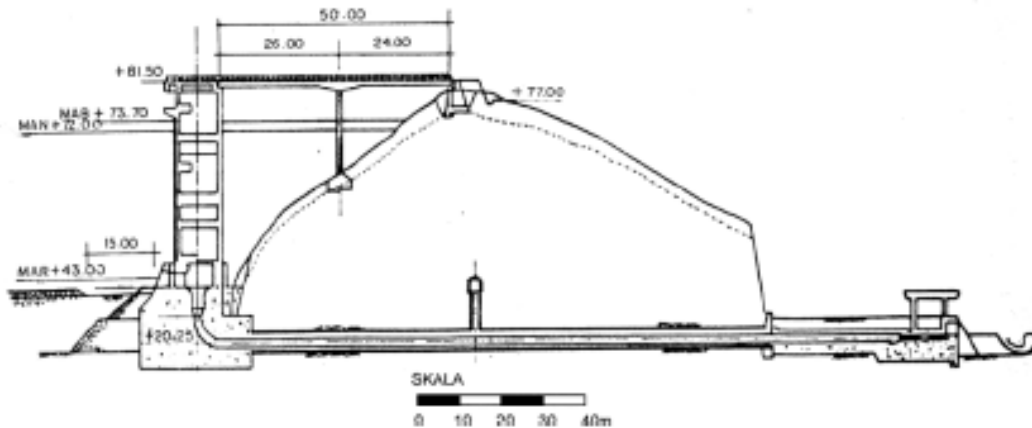
- Bangunan sadap menara.
- Bangunan sadap yang langsung dipasang pada lereng hulu, khususnya pada bendungan beton.
- Drop inlet intake
- Penyadap sandar/miring

##### 1. Bangunan sadap menara/ intake tegak

Bangunan pengambil (intake) ini adalah berfungsi sebagai mulut pemasukan langsung dari waduk. Bangunan pengambil tersebut juga dilengkapi dengan pintu pengatur aliran saringan sampah (trashrack) dan saringan ikan (fish screen), bila diperlukan serta fasilitas untuk perbaikan, yakni alat penutup bulkhead atau stoplogs.

Konduit pemasukan dapat diletakkan vertikal, miring atau horisontal, tergantung dari keperluannya. Pemasukan vertikal biasanya dipasang pada elevasi yang sama dengan level conduit. Bila pintu dioperasikan pada lereng hulu dari suatu bendungan yang rendah dapat digunakan pemasukan yang miring (inclined spillway). Bila diinginkan level ambang pelimpah yang lebih tinggi dari conduit, dapat digunakan jenis drop inlet. Untuk mengurangi kehilangan tinggi tekanan, mulut pemasukan biasanya didesain berbentuk bellmouth atau rounded.



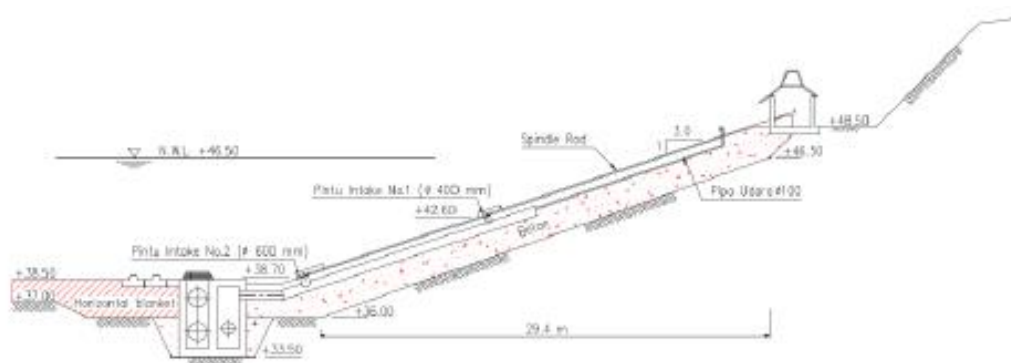


Gambar 08.15 Potongan Melintang Bangunan Sadap Menara/Intake Tegak

## 2. Bangunan Pengambilan Miring/ penyadap sandar

Bangunan intake yang miring biasanya diletakkan pada bagian lereng hulu bendungan atau di sepanjang tepi waduk bagian hulu bendungan. Tergantung dari kebutuhan dan kondisi di lapangan, bangunan pengambil miring tersebut dapat terendam seluruhnya atau diperpanjang sampai di atas elevasi muka air waduk maksimum untuk memudahkan operasinya pada setiap level muka air waduk.

Bangunan pengambil miring yang diperpanjang sampai di atas air waduk tersebut biasanya mempunyai fungsi yang sama dengan bangunan pengambil menara. Jenis bangunan pengambil miring sering dipilih, karena pertimbangan sedimentasi dan stabilitasnya.



Gambar 08.16 Potongan Melintang Bangunan Sadap Miring/Menara Sandar



## BAB IX PEKERJAAN IMPOUNDING

### 9.1 Pekerjaan Impounding

Pengisian awal waduk (Impounding) merupakan tahapan yang dilakukan setelah pekerjaan konstruksi selesai dan merupakan saat saat yang kritis dalam suatu pembangunan bendungan. Tahapan ini kritis dikarenakan terjadi perubahan lingkungan di sekitar waduk dan juga pada DAS Cimanuk, karena dimana sebelumnya waduk ini kering menjadi terisi air. Pada tahapan ini air yang mengalir ke bagian hilir akan terhenti sementara waktu, dan air akan mengalir lagi saat air yang tergenang sudah mencapai suatu elevasi tertentu.



Gambar 9.1 Bird View Site Bendungan

Pada tahapan ini, jumlah debit inflow akan berpengaruh pada hilir bendungan, dikarenakan jika inflow/debit yang masuk sedikit maka akan terjadi kekeringan di hili bendungan. Hal ini juga mempengaruhi bagian genangan di bendungan dikarenakan setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang berbeda mengenai penyerapan air, oleh karena itu perlu dilakukan pemantauan agar korban jiwa tidak terjadi, dan juga untuk menghindari kerusakan pada struktur bendungan karena jika terlalu cepat tahap impounding ini maka akan mengakibatkan tekanan yang berlebih dan akan timbul gaya angkat pada timbunan inti bendungan.

Sebelum melakukan impounding, dilakukan persiapan sebagai berikut

- Persiapan fisik konstruksi fisik konstruksi & bangunan pelengkapya



- Tubuh bendungan
  - Bangunan pengambilan (intake) dan saluran air (waterway)
  - Bangunan pelimpah (spillway)
  - Pintu terowongan pengelak
  - Fasilitas & sarana jalan
- b. Persiapan fisik bukan konstruksi
- Pembebasan tanah dan pemindahan penduduk
  - Pemotongan pepohonan di daerah genangan waduk
  - Kajian terhadap adanya longsor di daerah waduk
  - Evakuasi satwa liar
  - Pengukuran cross section dasar waduk dan patok batas
- c. Persiapan non fisik dan administrasi
- Sosialisasi pengenangan waduk terhadap penduduk di sekitar waduk
  - Pedoman Operasi & Pemeliharaan
  - Organisasi operasi dan pemeliharaan bendungan
  - Analisa keruntuhan bangunan (dam break analysis)
  - Panduan rencana tindak darurat (emergency action plan)
  - Manual pengisian awal waduk
  - Persetujuan pengisian awal waduk



Gambar 9.2 Peresmian Waduk



Biasanya impounding dilakukan bersamaan dengan peresmian sebuah waduk, dan impounding dilaksanakan dengan peledakan kecil sebagai bentuk simbolis bendungan mulai beroperasi.



## **BAB X**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengamatan, pengumpulan berbagai tinjauan Pustaka, dan informasi yang diperoleh dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum Bendungan Pekerjaan Persiapan, Pekerjaan Galian & Terowongan Pengelak, Pekerjaan Dewatering, Pekerjaan Cofferdam, Pekerjaan Tubuh Bendung, Pekerjaan Bangunan Pelimpah (Spillway), Pekerjaan Bangunan Intake, Pekerjaan Instrumentasi, dan Pekerjaan Impounding.
2. Tidak ada pekerjaan bendungan yang sama persis dengan satu sama lain. Dikarenakan berbagai macam hal sangat berpengaruh seperti kontur, lokasi, keadaan tanah, dan keadaan lingkungan.
3. Sistem kerja atau metode yang professional dapat memudahkan pelaksanaan di lapangan dan mengefisiensikan waktu sehingga pekerjaan tidak mengalami keterlambatan.
4. Pembangunan yang baik tidak lepas dari perencanaan yang baik mulai dari perhitungan, perencanaan pelaksanaan di lapangan, kerja sama, dan manajemen yang baik dari semua stakeholder yang ada.
5. Pengawasan sangat diperlukan dalam pembangunan Bendungan, hal ini menentukan hasil dari konstruksi yang dibangun.
6. *Controlling* baik dari SDM maupun material wajib diperlukan dalam pembangunan Bendungan
7. Fasilitas dan peralatan proyek sangat berpengaruh dalam pelaksanaan proyek. Dan didukung dengan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman.
8. Bahan bahan yang digunakan untuk pembangunan proyek harus dibuat sesuai standard dan peraturan yang ada. Namun, jika tidak ada dapat disesuaikan dengan keadaan lokasi sekitar namun tetap dalam prasyarat yang ada.
9. Grouting merupakan hal yang cukup kritis dalam pembangunan suatu bendungan. Dimana grouting menghalangi jalannya air yang masuk ke dalam tanah agar tidak terjadi rembesan.
10. Instrumentasi Bendungan dapat dibutuhkan atau tidak dibutuhkan dalam konstruksi suatu bendungan. Hal ini bergantung dari kondisi dan lokasi bendungan.



11. Pekerjaan pelengkap dapat memiliki komponen yang berbeda dari bendungan satu dengan lainnya. Hal ini bergantung dari fungsi utama bendungan tersebut.
12. Pada Pelaksanaan digunakan metode/alat yang ekonomis sehingga dapat meminimalkan biaya dengan waktu pekerjaan yang optimal.

## 10.2 Saran

Adapun saran yang dapat kami berikan adalah sebagai berikut:

1. Bendungan merupakan suatu mega-konstruksi yang memerlukan waktu tahunan untuk penyelesaiannya. Sehingga perlu direncanakan dengan matang baik dari segi lokasi, ketersediaan bahan, dan keadaan lingkungan.
2. Pihak perencana proyek harus mempertimbangkan dan memperhitungkan segala kemungkinan yang dapat terjadi dan risiko yang harus diambil. Sehingga tidak terjadi kerugian dan kegagalan dalam pelaksanaan.
3. Kontraktor pelaksana tetap harus memperhatikan K-3 (Keselamatan Kerja, Keamanan Kerja, dan Kesejahteraan Pekerja).
4. Pengawas Lapangan hendaknya selalu berada di lokasi proyek untuk mengawasi dan mengontrol hasil pekerjaan dari para pekerja.
5. Ada baiknya sebelum membangun Bendungan, dilakukan peninjauan terhadap ekosistem yang ada dikarenakan pembangunan bendungan tentunya mengambil tanah (quarry) dan melakukan urugan dengan volume yang tidak sedikit.
6. Perhitungan volume kebutuhan material diusahakan mendekati agar dapat mengefisiensi alat dan produktivitas
7. Melakukan pengawasan lebih terutama terhadap grouting, dan penimbunan tubuh bendung.
8. Mengusahakan agar keadaan alat dalam kondisi baik dan tidak cacat, sehingga mengurangi terjadinya kemungkinan keterlambatan.
9. Melakukan Sosialisasi mengenai fungsi dari bendungan kepada warga sekitar supaya tidak terjadinya penolakan/perusakan pada fasilitas bendungan.
10. Pembangunan Bendungan diharapkan memperhatikan aspek pembangunan berkelanjutan yang mana berguna untuk merawat lingkungan dan juga masa depan yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Wicaksono A. Y, M Firdaus N. A. 2017. METODE PELAKSANAAN PEMBANGUNAN SALURAN PENGELAK DAN TIMBUNAN COFFERDAM BENDUNGAN TUGU TRENGGALEK JAWA TIMUR.
- Dirjen SDA. 2005. *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*, Jakarta: Balai Pustaka
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017. *Modul Pengukuran Topografi Bendungan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*, Bandung: Balai Pustaka
- [Anonim]. 2005. *Tahapan dan Metode Pelaksanaan Bendungan*, Jakarta
- Balai Penerapan Teknologi Konstruksi. 2018. *Prinsip Perencanaan Bendungan dan Bangunan Pelengkap 2018 (2 JP)*, Jakarta
- [Anonim]. 2020. *Dokumen Teknis Metode Pelaksanaan Bendungan Cipamingkis*
- PT Brantas Abipraya,, *Metode Drilling and Grouting Bendungan Jatibarang*
- PT Brantas Abipraya, *Metode Embankment Main DAM (Bendungan Jatibarang)*
- PT Brantas Abipraya, *Metode Pengecoran Spillway & Galeri Bendungan Jatibarang*
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber daya Air dan konstruksi, 2017. *Modul Instrumentasi Bendungan Urugan Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar*, Bandung: Balai Pustaka
- Darmawan, Luqman K dan Rohman, Habibur, 2018. *Metode Pelaksanaan Pembangunan Tubuh Bendung Bendungan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa Timur*, ITS: Surabaya